



**UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS**  
**VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica**

## **TRABAJO DE DIPLOMA**

**“Diseño de una Red de Área Local Inalámbrica  
Jardín Botánico-FIE”**

**Autor: Yasiel Hernández Barrios**

**Tutor: Ing. Arelys Ramos Fleites**

**Co-Tutor: MSc. David Beltrán Casanova**

**Santa Clara**

**Curso 2006-2007**

**"Año 49 de la Revolución"**

---



**Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica**

**Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

### **“Diseño de una Red de Área Local Inalámbrica Jardín Botánico-FIE”**

**Autor: Yasiel Hernández Barrios**

**Tutor: Ing. Arelys Ramos Fleites**  
Especialista en Ciencias Informáticas.  
Administradora del nodo central de la red UCLV.  
Dirección de Informatización - UCLV.  
e-mail: arelys@uclv.edu.cu

**Co-Tutor: MSc. David Beltrán Casanova**  
Prof. Dpto. de Telecomunicaciones y Electrónica  
Facultad de Ing. Eléctrica. UCLV.  
e-mail: dbeltranc@uclv.edu.cu

**Santa Clara**

**Curso 2006-2007**

**“Año 49 de la Revolución”**



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

---

**Firma del Autor**

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

---

**Firma del Autor**

---

**Firma del Jefe de  
Departamento donde se  
defiende el trabajo**

---

**Firma del Responsable de**

**Información Científico-Técnica**

*Pensamiento*

## **PENSAMIENTO**

*“Para ir por el buen camino en este mundo, es necesario sacrificarse hasta el final. La misión del hombre no consiste sólo en ser feliz. Debe él descubrir algo grandioso en la humanidad”.*

*J.E. Renan*

# *Dedicatoria*

## DEDICATORIA

A la memoria de mi padre,

A mi madre del alma,

A mis hermanas,

A mis abuelos,

A mi novia y

A mi maravillosa familia

# *Agradecimientos*



## **AGRADECIMIENTOS**

A mis tutores Arelys y David por la ayuda incondicional,

A las personas de la Gerencia de Comunicaciones de Copextel de Villa Clara,

A las personas del grupo de redes de la UCLV,

Al excelente claustro de profesores de la FIE en especial a los integrantes del departamento,  
de Telecomunicaciones y Electrónica,

A todos lo que de una forma u otra han hecho posible la realización de este trabajo,

A mi madre por su excelente educación y por su sacrificio en todo momento,

A mis hermanas, a mi familia, a mi novia y a mis amigos, por la confianza depositada en  
mí.

# *Tareas Técnicas*

## TAREAS TÉCNICAS

Las tareas a realizar en este trabajo son:

- Revisión y estudio bibliográfico sobre la actualidad de las redes inalámbricas en el mundo incluido el equipamiento más usado y el que se comercializa en Cuba.
- Visita a instituciones y organizaciones donde hay soluciones inalámbricas, las cuales sirven como casos de estudio.
- Definir y caracterizar el tipo de tecnología a usar para lograr la calidad del enlace
- Confección del proyecto para enlazar las áreas de Eléctrica-Jardín Botánico.

---

Firma del Autor

---

Firma del Tutor

# *Resumen*

## **RESUMEN**

Se realizó el diseño de una red inalámbrica de área local, con el objetivo de enlazar sitios que están fuera de la red de la UCLV; como es el caso del Jardín Botánico, para dar solución a los problemas de interconexión a lugares de difícil instalación de una infraestructura cableada, y de esta manera completar la red de computadoras de este centro de estudios. Para la realización de este trabajo se revisaron diferentes documentos, además se visitó un centro donde se encuentra implementada esta tecnología. Se tuvo en cuenta para el diseño la distancia entre los puntos a enlazar, la altura a la que deben estar las antenas, de forma tal que no se vea afectada la zona libre de Fresnel. Se escogió el equipo adecuado que cubriera la distancia entre los puntos a enlazar, concluyendo el diseño.

# *Tabla de Contenidos*

**TABLA DE CONTENIDOS**

PENSAMIENTO .....	I
DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
TAREAS TÉCNICAS .....	IV
RESUMEN .....	V
INTRODUCCIÓN .....	1
Organización del informe .....	3
<b>CAPÍTULO 1. REDES DE AREA LOCAL INALÁMBRICAS .....</b>	<b>4</b>
1.1 Ventajas de las redes de área local inalámbricas .....	4
1.1.1 Elementos y algunos aspectos de redes WLAN .....	5
1.2 Topología de redes WLAN.....	6
1.2.1 Topología ad-hoc .....	6
1.2.2 Topología infraestructura.....	6
1.2.3 Enlace entre varias LAN.....	7
1.3 Estándares Inalámbricos .....	7
1.3.1 Estándares IEEE .....	8
1.3.1.1 Estándares en evolución.....	11
1.4 Tecnologías en WLAN .....	14
1.4.1 Espectro extendido (SS).....	14
1.4.1.1 Espectro Extendido por Secuencia Directa (DSSS) .....	15
1.4.2 Otras tecnologías de radio de redes WLAN .....	16
1.4.2.1 Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM) .....	17
1.4.2.2 Conmutación de Códigos Complementarios (CCK) .....	18

1.4.2.3 Conmutación de Códigos Complementarios/Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (CCK/OFDM) .....	19
1.4.2.4 Codificación Convolutiva de Paquetes Binarios (PBCC).....	19
1.5 Bandas de Frecuencia .....	20
1.6 Acceso al medio.....	20
1.6.1 Función de Coordinación Distribuida.....	21
1.6.1.1 Protocolo de acceso al medio.....	21
1.6.2 Función de Coordinación Puntual.....	22
1.7 Seguridad en redes WLAN .....	23
1.8 Conclusiones del Capítulo .....	25
<b>CAPÍTULO 2. RADIOPROPAGACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE UN RADIOENLACE .....</b>	<b>26</b>
2.1 Radiopropagación .....	26
2.2 Conceptos.....	26
2.3 Mecanismos de propagación.....	28
2.3.1 Reflexión, Refracción y Absorción .....	28
2.3.2 Difracción .....	29
2.3.3 Dispersión.....	29
2.4 Interferencia, ruido y distorsión.....	30
2.4.1 Interferencia .....	30
2.4.2 Ruido.....	31
2.4.1 Distorsión.....	32
2.5 Análisis de las características de un radioenlace. ....	32
2.5.1 Tipos de antenas.....	33
2.5.2 Pérdidas en los cables .....	35

2.5.3 Fórmulas de Friis para el enlace .....	35
2.5.3.1 Enlace en condiciones de espacio libre.....	36
2.5.3.2 Enlace a través de un medio cualquiera.....	36
2.5.4 Sensibilidad del receptor.....	37
2.5.5 Relación señal a ruido.....	37
2.5.6 Margen .....	39
2.5.7 Distorsión del retardo ( <i>Delay Spread</i> ) .....	39
2.6 Conclusiones del Capítulo .....	40
<b>CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL ENLACE.....</b>	<b>41</b>
3.1 Situación de la red de la UCLV .....	41
3.1.1 Deficiencias en la red.....	42
3.1.2 Análisis del entorno para enlazar la red con infraestructura cableada.....	43
3.1.2.1 Otras alternativas .....	44
Proyecto VLIR (VLAAMSE INTERUNIVERSITAIRE RAAD) .....	44
3.2 Oferta del equipamiento.....	44
3.2.1 Mercado Mundial.....	44
3.2.2 Oferta en Cuba .....	45
3.2.3 Selección del equipamiento .....	45
3.3 Características del K-BEST .....	46
3.3.1 Series BL 3 000-3 010, BL3 200 .....	46
3.3.2 Datos del K-BEST BL-3201 802.11 b/g Outdoor radio .....	47
3.4 Diseño del enlace inalámbrico.....	48
3.5 Aterramiento .....	53
3.6 Análisis económico.....	54

3.7 Ejemplos de implementación de enlace inalámbrico con tecnología K-BEST en la ECIE de Villa Clara. ....	55
3.8 Soluciones alternativas de respaldo ante situaciones que comprometen la continuidad de los servicios de la red. ....	55
3.9 Conclusiones del Capítulo .....	56
CONCLUSIONES .....	57
RECOMENDACIONES .....	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59
ANEXOS.....	64
GLOSARIO .....	71

# *Introducción*

## INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones vía radio, han experimentado un gran auge en nuestros días, debido a los cambios constantes en las características físicas y funcionales de los equipos utilizados para este tipo de comunicación. Las redes inalámbricas como su nombre lo indica no necesitan infraestructura cableada para su funcionamiento y se han convertido en una variante muy necesaria para unir lugares donde es imposible llegar con redes cableadas. Al igual que las redes con cables LAN, WAN, MAN, existen redes inalámbricas WLAN, WPAN, WWAN/WMAN. Ejemplo de estas redes lo constituyen los estándares IEEE 802.11, Bluetooth (802.15.1), Home RF, HiperLan, MobileFi (802.20), WiMax (802.16), ZigBee (soportada sobre la base de 802.15.4), entre otros. El origen de las *Redes de Área Local Inalámbricas (WLAN, Wireless Local Area Networks)* data de 1979, cuando el *Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE. Institute of Electrical and Electronic Engineer)* publicó los resultados de un experimento realizado por ingenieros de la IBM (*International Business Machine*) en Suiza. En mayo de 1985 la *Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, Federal Communications Commission)*, asignó las *bandas Médicas, Científicas e Industriales (ISM, Industrial, Scientific and Medical)*. En 1990 se forma el comité IEEE 802.11, con la tarea de generar normas para las WLAN y no es hasta el año 1997 que se ratifica la especificación 802.11 original como la norma para las WLAN. Los países punteros en redes WLAN son los Estados Unidos, países miembros de la Unión Europea, Australia y Japón, todos del mundo desarrollado. Cuba, como otros tantos países en vías de desarrollo, ha asumido el reto de las redes WLAN; varias instituciones se han sumado al empleo de las mismas como la Universidad Agraria de La Habana. La ECIE de la provincia de Villa Clara ha puesto en marcha enlaces inalámbricos y la Universidad Central “Martha Abreu” de Las Villas (UCLV) pretende adoptar estas redes para la interconexión de edificios que la integran.

Este trabajo surge porque existen áreas dentro de la universidad que no se pueden unir al *backbone* de fibra dado a que las condiciones geográficas no lo permiten y están actualmente privados de todos los servicios que brinda la red de la UCLV.

Con el diseño de una WLAN se logrará enlazar de manera inalámbrica el Centro de Investigación ubicado dentro del Jardín Botánico, lo cual permitirá elevar el nivel científico técnico del personal que allí radica y el desarrollo tecnológico de la universidad. Los resultados de este trabajo, serán de conocimiento de todos los interesados en el tema, y el diseño quedará para trabajos futuros en esta rama de las telecomunicaciones. Este estudio tiene un valor metodológico importante, al brindar herramientas para el posterior montaje.

Objetivo general:

Diseñar una red inalámbrica en la Universidad para enlazar las áreas que hoy están fuera de la red, en específico el Jardín Botánico, y de esta manera contribuir al completamiento de la red de computadoras de la UCLV.

Objetivos específicos:

- Definir las redes inalámbricas y analizar los diferentes estándares y sus características.
- Analizar aspectos relacionados con un enlace de radio.
- Obtener la concepción del equipamiento necesario para establecer redes y subredes inalámbricas en el centro.
- Realizar el diseño teórico de un enlace inalámbrico entre el Jardín Botánico-FIE.

Particularmente en la UCLV, se justifica el proyecto, ya que el campus universitario es muy extenso, y hay lugares que por las condiciones geográficas del terreno, es imposible llegar con el enlace por fibra óptica. De ahí la necesidad de buscar otras variantes en la instalación de las redes de comunicaciones, para lograr llevar a todas las áreas universitarias los servicios con que cuenta la red y que hoy están totalmente incomunicados o en la mayoría de los casos usan en sólo una máquina- una línea telefónica conmutada, para lograr al menos el servicio de correo electrónico. Estos sitios están privados de los demás servicios con que cuenta la red y alejados de todo el proceso de informatización en que están inmersas todas las universidades del país. Además este proyecto constituye un punto de partida en la aplicación de enlaces inalámbricos en la Universidad Central.

## **Organización del informe**

En el capítulo uno, se realiza un estudio de las redes inalámbricas de área local, las ventajas que presenta frente a las estructuras cableadas, los componentes que la integran, las distintas topologías en las que pueden ser configuradas los estándares, las tecnologías de radio, la seguridad y como se accede al medio.

En el capítulo dos, se analizan cuestiones relacionadas con la radiopropagación, se definen algunos conceptos importantes entre los que se encuentran; la zona de Fresnel y LOS y se exponen las características de un enlace de radio.

En el capítulo tres, se realiza un análisis de la red UCLV y se exponen las deficiencias de la misma, se analizan las alternativas para la interconexión del Centro de Investigación del Jardín Botánico, se estudian las ofertas del mercado mundial y nacional para la obtención de los equipos del enlace y se realiza el diseño de un enlace inalámbrico.

# *Capítulo 1*

## **CAPÍTULO 1. REDES DE AREA LOCAL INALÁMBRICAS**

Las Redes de Área Local Inalámbricas, conocidas por sus siglas WLAN o por Wi-Fi<sup>1</sup>, es un sistema flexible de transmisión de datos, que utiliza como medio de transmisión el aire. Este sistema está implementado como una extensión o una alternativa de una red LAN cableada dentro de un edificio o de un campus. Están diseñadas, para proveer acceso a redes de diferentes localizaciones entre dispositivos de computación.

### **1.1 Ventajas de las redes de área local inalámbricas**

En los últimos años, las WLAN han ido ganando gran popularidad, la cual se incrementa según aumentan sus prestaciones, se originan nuevas aplicaciones y disminuyen los costos de infraestructura. Las WLAN, permiten a sus usuarios acceder a información y recursos en tiempo real, sin necesidad de estar físicamente conectados a un determinado lugar. Un usuario dentro de una red inalámbrica, puede transmitir y recibir voz, datos y vídeo dentro de edificios, entre edificios o campus universitarios e inclusive, sobre áreas metropolitanas.

Estas redes tienen una serie de ventajas sobre una red fija, convirtiéndolas así, en una alternativa viable para dar solución a los problemas de interconexión de redes. Una de las ventajas es la movilidad, pues las redes inalámbricas posibilitan que los usuarios de una LAN, tengan acceso a la información en tiempo real, en cualquier lugar en el que están desplegadas. Otra de las mejoras que presentan las WLAN, son la simplicidad y rapidez en la instalación, eliminando la necesidad de utilizar cables. Además proporcionan flexibilidad en la instalación, permitiendo a la red llegar a puntos donde el acceso es difícil para una LAN cableada. A lo anterior se suma el costo de propiedad reducido, aunque el costo en hardware de una LAN es menor, la inversión en toda la instalación y el costo durante el ciclo de vida es inferior. Los sistemas WLAN son más escalables en comparación con las redes de cable, porque se pueden configurar en diversas topologías para cumplir con las necesidades de las instalaciones y aplicaciones específicas. Las configuraciones, son muy fáciles de cambiar y además resulta muy fácil la incorporación de nuevos usuarios a la red (DLINK Latinoamérica, 2004).

---

<sup>1</sup> Wireless Fidelity es el nombre comercial que reciben las redes WLAN del estándar IEEE 802.11.

Otra de las ventajas las redes WLAN, es el *roaming*, que no es más, que la posibilidad que tiene un usuario de moverse de un punto de acceso a otro dentro de la misma tecnología, es decir, puntos de acceso bajo el mismo estándar. (Novakovik, 2004). Para García Fernández (2005) con el *roaming* no se pierde la cobertura, y la comunicación permanece libre de cortes.

### 1.1.1 Elementos y algunos aspectos de redes WLAN

Una estación inalámbrica, es una *Computadora Personal (PC, Personal Computer)* o una Laptop con una *Tarjeta de Red Inalámbrica (NIC, Network Interface Card)*, la cual cuenta con una antena, que permite el intercambio de información (García Amores, 2004). Esta tarjeta, realiza las funciones de las tarjetas de red ethernet, adaptando las tramas ethernet que genera el PC, a las tramas del estándar inalámbrico y viceversa. Otro componente de las redes WLAN es un Adaptador Externo, que forma parte de la infraestructura, y se encarga de adaptar la interfaz cableada con la inalámbrica, actuando como un receptor-transmisor externo de la computadora, este constituye una alternativa al NIC inalámbrico. El *Punto de Acceso (AP, Acces Point)* (Ver Anexo I), el cual actúa como puente, tiene dos tipos de interfaces: el inalámbrico hacia los nodos inalámbricos y el cableado hacia la red troncal (Ethernet). Este es el encargado de coordinar la comunicación entre los nodos inalámbricos, que están conectados a él. Los AP deben además proporcionar autenticación y confidencialidad, pues dan paso a la red cableada. Existen puntos de acceso para interior (*indoor*) y exterior (*outdoor*), en dependencia de la aplicación.

Un término manejado en los componentes de redes WLAN, son los *Puentes de Grupo de Trabajo (WB, Workgroup Bridge)*, que garantizan la conexión inalámbrica de una red LAN cableada remota con un punto de acceso.

Los AP, pueden enlazarse con la utilización de tres formas: punto a punto, punto a multipunto y redes malladas. El enlace punto a punto, une dos redes LAN a través del modo puente entre dos redes finales (*Endpoint*), el enlace punto a multipunto, conecta múltiples redes alambradas con el empleo del modo puente multipunto (*Multipoint*), y las redes malladas están formadas por APs conectados punto a punto, para que queden enlazados en forma de malla (Leyva, 2005: 13).

## 1.2 Topología de redes WLAN

La utilización de una red WLAN, depende de las necesidades de los consumidores y de las condiciones existente en el lugar. Las redes inalámbricas, se construyen utilizando dos topologías básicas. Estas topologías se conocen de distintas formas: administradas y no administradas, *hosted* y *peer-to-peer*, infraestructura y ad-hoc (Fout et al., 2007).

### 1.2.1 Topología ad-hoc

Una topología ad-hoc está formada por los dispositivos inalámbricos mismos, equipados con la correspondiente tarjeta adaptadora para comunicaciones inalámbricas, sin punto de acceso (Fig. 1.1) y son muy sencillas de implementar. Tienen integradas mecanismos de usuario y de seguridad y típicamente no requieren de administración. Cada estación, mantiene una lista de usuarios de grupo y contraseña de grupo.

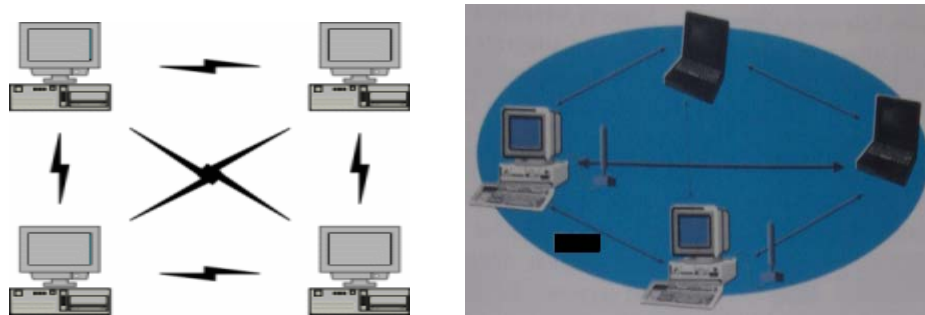


Figura 1.1. Ejemplos de topología Ad-hoc.

Ad-hoc es una configuración muy flexible, que no requiere un número elevado de terminales. Los dispositivos que se emplean, basan su funcionamiento en el uso de baterías, por lo que, se hace necesario la existencia de mecanismos que optimicen el consumo de potencia de operación (Calderón y Quintero, 2004).

### 1.2.2 Topología infraestructura

Esta topología, amplía una red cableada existente a dispositivos inalámbricos, a través, de un punto de acceso, actuando como controlador central para la red inalámbrica (Fig. 1.2). La infraestructura utiliza el concepto de celda. Una celda, podría entenderse, como el área en la que una señal radioeléctrica es efectiva. A pesar, que en el caso de las redes inalámbricas esta celda suele tener un tamaño reducido, mediante el uso de varias fuentes de emisión, es posible combinar celdas para cubrir de forma casi total un área más extensa.

Un único punto de acceso puede soportar un pequeño grupo de usuarios. Esta topología aumenta el alcance de la red y permite el *roaming* (García Fernández, 2005).

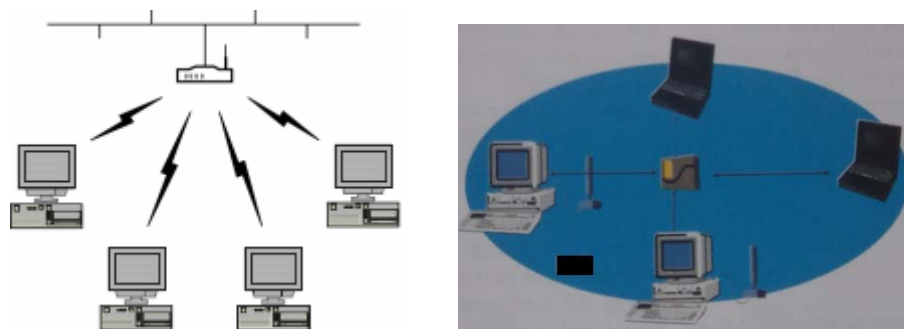


Figura 1.2. Ejemplos de Topología Infraestructura.

### **1.2.3 Enlace entre varias LAN**

Esta configuración, se utiliza cuando se necesitan conectar dos o más redes de área local que están separadas, ya sea en edificios o instituciones, las cuales no se puedan unir por la vía cableada. Para ello es necesario el uso de antenas direccionales u omnidireccionales (Ver Anexo II, III, IV), las cuales tienen el objetivo de enlazar las redes ya mencionadas de área local situadas geográficamente en sitios distintos.

## **1.3 Estándares Inalámbricos**

Las redes WLAN cumplen con los estándares genéricos aplicables al mundo de las LAN cableadas (IEEE 802.3 o estándares equivalentes); pero necesitan una normativa específica adicional, que defina el uso y acceso de los recursos radioeléctricos. Varios organismos internacionales han desarrollado una amplia actividad en la estandarización de normativa de WLAN y han generado un gran número de estándares. Entre ellos podemos citar el IEEE que ha realizado una serie de estándares 802.11 y sus variantes; y en Europa el *Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo (ETSI, European Telecommunication Standard Institute)* que con sus actividades en *HiperLAN-BRAN (Broadband Radio Access Networks)* ha desarrollado estándares como Hiperlan tipo 1 y tipo 2, así como Hiperaces e Hiperlink. De esta manera se pueden diferenciar entre dos tipos de redes WLAN, las procedentes de IEEE y de ETSI.

### **1.3.1 Estándares IEEE**

Como todos los estándares IEEE 802, el IEEE 802.11 centra su funcionamiento en las dos capas inferiores del modelo de referencia de *Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI, Open System Interconnection)*: el *Nivel Físico (PHY, PhysicLayer)* y el *Nivel de Enlace de Datos (DLL, Data Link Layer)*, este último se subdivide en la capa de *Control de Acceso al Medio (MAC, Medium Access Control)* y *Control del Enlace de Datos (DLC, Data Link Layer)*, estas capas regulan la conexión vía radio.

La norma IEEE 802.11, se divide en estándares desarrollados por grupos de trabajo independientes, los cuales se identifican por medio de letras agregadas tras la última cifra. Cada vez que surge la necesidad de nuevas técnicas para solucionar un determinado problema, el IEEE crea un nuevo grupo de trabajo incluido en el 802.11 e identificado por una nueva letra.

- **IEEE 802.11 Legacy:** La versión original del estándar IEEE 802.11 fue publicada en 1997, especifica dos velocidades de transmisión teóricas de 1 y 2 Mbps que se transmiten por señales infrarrojas (IR) en la banda ISM a 2,4 GHz. La señal IR sigue siendo parte del estándar, pero no hay implementaciones disponibles. El estándar original también define el protocolo de *Múltiple Acceso por Detección de Portadora / Evitando Colisiones (CSMA/CA, Carrier Sense Multiple Acces/Colission Avoidance)* como método de acceso y utiliza como técnicas de RF *Espectro Extendido por Salto de Frecuencia (FHSS, Frequency Hopping Spread Spectrum)* y *Espectro Extendido de Secuencia Directa (DSSS, Direct Sequence Spread Spectrum)*.

- **IEEE 802.11a:** Se aprobó en 1999 por el IEEE y en el año 2001 hizo su aparición en el mercado. El estándar IEEE 802.11a, también conocido como Wi-Fi 5, utiliza el mismo juego de protocolos de base que el estándar original y opera en la banda de 5 Ghz. Utiliza *Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing)* como tecnología de radio. Esta norma tiene 12 canales no solapados, 8 para red inalámbrica y 4 para conexiones punto a punto. No puede interoperar con equipos del estándar IEEE 802.11b, sólo si se dispone de equipos que implementen ambos estándares. La utilización de la banda de 5GHz tiene sus desventajas, dado que restringe el uso de los equipos 802.11a únicamente a puntos en línea de vista, con

lo que se hace necesario la instalación de un mayor número de puntos de acceso. Esto significa también, que los equipos que trabajan con este estándar no pueden penetrar tan lejos porque sus ondas son fácilmente absorbidas. El alcance del sistema es pequeño en entornos cerrados, lo que implica tener que montar más AP. Algunos fabricantes ofrecen híbridos 802.11a/b, aunque estos productos lo que tienen realmente son las dos extensiones implementadas.

- **IEEE 802.11b:** Este define los niveles físico y de acceso al medio. Es una extensión del 802.11 para WLAN empresariales. Ratificado en 1999. Utiliza como técnica de radio DSSS y *Conmutación de Códigos Convolutivos (CCK, Complementary Code Keying)*. Tiene una velocidad máxima de transmisión de 11 Mbps y utiliza el método de acceso CSMA/CA. El estándar IEEE 802.11b funciona en la banda de 2.4 GHz. Debido al espacio ocupado por la codificación del protocolo CSMA/CA, en la práctica, la velocidad máxima de transmisión de este estándar es de aproximadamente 5.9 Mbps sobre *Protocolo de Control de Transporte (TCP, Transport Control Protocol)* y 7.1 Mbps sobre *Protocolo de Datagrama de Usuario (UDP, User Datagram Protocol)*. Las velocidades de datos son de 11 Mbps, 5.5 Mbps, 2 Mbps y 1 Mbps. Ofrece una mejor penetración a través de las paredes y otros obstáculos, al igual que mayor distancia de operación en la oficina, en el hogar y en otros entornos encerrados. Los productos IEEE 802.11b de diferentes productores tienen compatibilidad entre ellos, gracias a la *Alianza de Compatibilidad Ethernet Inalámbrica (WECA, Wireless Ethernet Compatibility Alliance)*<sup>2</sup>.

- **IEEE 802.11c:** Especifica métodos para la conmutación inalámbrica, o lo que es lo mismo, métodos para conectar diferentes tipos de redes mediante redes inalámbricas (Luther, 2005).

- **IEEE 802.11d:** Es un complemento al nivel MAC en la familia IEEE 802.11, permitiendo así, el uso a escala mundial, de las redes WLAN de este estándar. Se refiere a las diferencias regionales en tecnologías, relacionadas con el número y disponibilidad de

---

<sup>2</sup> También se conoce como Wi-Fi Alliance, es una asociación internacional no lucrativa que tiene la tarea de certificar la interoperabilidad de las redes LAN inalámbricas.

canales en las distintas regiones del mundo y los niveles de potencia aceptables para los dispositivos de los usuarios.

- **IEEE 802.11e:** Fue publicado por el IEEE en noviembre de 2005. Su objetivo es introducir nuevos mecanismos a nivel de capa MAC para soportar los servicios que requieren garantías de *Calidad de Servicio (QoS, Quality of Service)*, por lo que es de importancia crítica para aplicaciones sensibles a retrasos temporales tales como: la *Voz sobre IP (VoIP, Voice over IP)* y el *streaming multimedia*. Para cumplir su objetivo introduce un nuevo elemento llamado *Hybrid Coordination Function (HCF)*. Este estándar emplea otras técnicas como *Entrega Segura de Potencia Automática (APSD, Automatic Power Save Delivery)*, un sistema eficiente de gestión de la energía de especial utilidad en teléfonos VoIP portátiles y otros dispositivos que funcionan con baterías (Fernández, 2007).

- **IEEE 802.11f:** Especifica un *Protocolo Entre Puntos de Acceso (IAPP, Inter-Access Point Protocol)* para la comunicación entre estos, independientemente de los proveedores y la marca de los productos. Comprende la inscripción de un punto de acceso en una red y el cambio de información, cuando un usuario se traslada en la zona de cobertura gestionada por los puntos de acceso de diferentes orígenes. Su objetivo es lograr la interoperabilidad de AP dentro de una red WLAN mutliproveedor.

- **IEEE 802.11g:** Se ratificó en junio de 2003. Este utiliza la banda de 2.4 GHz al igual que el estándar IEEE 802.11b pero opera a una velocidad teórica máxima de 54 Mbps. Utiliza las tecnologías de radio: DSSS y OFDM. Es compatible con el estándar IEEE 802.11b y utiliza las mismas frecuencias; sin embargo, en redes bajo este estándar, la presencia de nodos bajo el estándar IEEE 802.11b, reduce significativamente la velocidad de transmisión.

- **IEEE 802.11h:** Está destinado a resolver problemas derivados de la coexistencia de las redes 802.11 con sistemas de Radares y Satélites en la banda de los 5 GHz. Con el fin de respetar estos requerimientos, este estándar proporciona a las redes bajo el estándar IEEE 802.11a la capacidad de gestionar dinámicamente tanto la frecuencia como la potencia de transmisión, mediante la Selección Dinámica de Frecuencia (DFS, *Dynamic*

*Frequency Selection*) y el *Control de Potencia del Transmisor (TPC, Transmitter Power Control)*.

DFS: La Selección de Frecuencia Dinámica es requerida por las WLAN, que operan en la banda de 5GHz, con el fin de evitar la interferencia cocanal, con sistemas de radar y para asegurar una utilización uniforme de los canales disponibles.

TPC: El Control de Potencia del Transmisor es requerido por las WLAN, que operan en la banda de 5GHz, para asegurar que se respeten las limitaciones de potencias transmitidas, que puede haber para diferentes canales en una determinada región, de manera que se minimice la interferencia con sistemas de satélites.

- **IEEE 802.11i:** Estándar que se encarga de la seguridad mediante la encriptación avanzada y procedimientos de autenticación, según los requerimientos de alta privacidad que sean solicitados. Es equivalente al protocolo *Acceso Protegido Wi-Fi 2 (WPA2, Wi-Fi Protected Access)* y es aplicable a los estándares IEEE 802.11a, IEEE 802.11b e IEEE 802.11g. Proporciona una alternativa a la *Privacidad Equivalente Cableada (WEP, Wireless Equivalent Privacy)* con nuevos métodos de encriptación y procedimientos de autenticación. Una parte clave de 802.11i la constituye IEEE 802.1x.

- **IEEE 802.11j:** Está destinada a la interoperatividad entre el estándar IEEE 802.11a e HiperLAN. Minimiza las diferencias entre ambos estándares para así lograr compatibilidad entre los productos de diferentes proveedores.

### **1.3.1.1 Estándares en evolución**

Según Fernández (2007) existen varios estándares que se encuentran en evolución:

- **802.11k *Radio Resource Measurement*:** Será publicado en octubre de 2007. Define una serie de mecanismos, cuyo objetivo es asegurar un uso eficiente de los recursos electromagnéticos en una red 802.11, así como, facilitar su administración y mantenimiento. En 802.11k se definen protocolos de comunicación entre los puntos de acceso y los dispositivos inalámbricos, mediante los cuales estos últimos pueden determinar a qué punto de acceso deben conectarse en cada momento, para garantizar un funcionamiento óptimo de la totalidad de la red.

- **802.11n High Throughput:** En enero de 2004 se anunció la formación del TGn (Task Group n). Su objetivo principal es alcanzar una velocidad de transmisión de datos de al menos 100 Mbps en el *Servicio de Punto de Acceso (SAP, Service Access Point)* del nivel MAC del protocolo 802.11. El estándar 802.11n anuncia velocidades teóricas cercanas a los 600 Mbps. Se espera que el radio de operación de las redes 802.11n supere los 50 metros. El mejor procedimiento para obtener velocidades de transmisión elevadas y aumentar el radio de operación de las mismas, consiste en hacer uso de la tecnología *Multiple Entrada Multiple Salida (MIMO<sup>3</sup>, Multiple Input Multiple Output)*-OFDM. Otro objetivo que se persigue para la definición de la nueva estructura de los paquetes en 802.11n es la posibilidad de interoperar con redes 802.11a y 802.11g. Se prevé su certificación en octubre de 2008.

- **802.11p Wireless Access for the Vehicular Environment:** Tiene la misión de definir las mejoras requeridas por el estándar 802.11, de manera, que este pueda ser usado en *Sistemas de Transportación Inteligente (ITS, Intelligent Transportation Systems)*. Se prevé que la norma finalice en el 2008 y será publicada en abril de 2009.

- **802.11r Fast Roaming:** Es un estándar que está siendo desarrollado por el grupo de trabajo TGr del IEEE. Esta norma será la especificación de referencia para efectuar transiciones rápidas entre Conjuntos de Servicios Básicos (BSS, Basic Service Set). Convertirá las transiciones entre puntos de acceso, en una operación segura y transparente para el usuario. Uno de los principales beneficiados con este estándar serán los móviles. Su ratificación está prevista para el año 2008.

- **802.11s Mesh Networking:** Es el estándar en desarrollo del IEEE para redes Wi-Fi malladas, también conocido como redes *Mesh* o Metro Wi-Fi. Un aspecto fundamental del funcionamiento de este estándar es que la comunicación entre un nodo y cualquier otro puede ir más allá del rango de cobertura de cualquier nodo individual (Martínez y García, 2006). Surgió inicialmente en Estados Unidos, y se plantea como una alternativa gratuita o

---

<sup>3</sup> Es una técnica de antenas inteligentes que incrementan la velocidad, rango, confiabilidad y eficiencia espectral de los sistemas inalámbricos. Permiten en determinadas circunstancias de propagación mejorar la capacidad del canal radio con respecto al caso de una única antena.

de bajo costo, para proporcionar servicios de banda ancha. Pretende responder a la fuerte demanda de infraestructuras WLAN móviles con un protocolo para la autoconfiguración de rutas entre puntos de acceso mediante topologías multisalto. Dicha topología constituirá un *Sistema de Distribución Inalámbrica (WDS, Wireless Distribution System)* (Fig. 1.3), que deberá soportar tráfico unicast, multicast y de broadcast. Se sustituirá la especificación BSS actual por una más compleja conocida como *Conjunto de Servicios Extendidos (ESS, Extended Service Set)*. Este estándar está apoyado por dos grupos distintos de empresas: la *Alianza Inalámbrica-Mallada (WiMA, Wi-Mesh Alliance)*, formada por Nortel, Thomson, Philips e Interdigital y la otra la *SEE (Simple Efficient Extensible) Mesh*, liderada por Intel y apoyada por Nokia, Motorola, NTT DoCoMo y Texas Instruments. Se prevé la publicación del estándar en octubre de 2008.

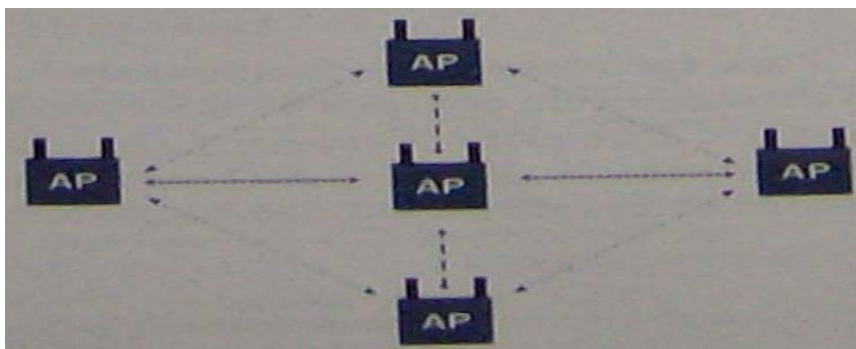


Figura 1.3. Redes malladas que constituirán WDS.

- **802.11T *Wireless Performance Prediction***: En julio de 2004, el IEEE formó el grupo de trabajo 802.11T, cuyo objetivo es crear un conjunto de niveles de rendimiento, pruebas recomendadas y métodos de medida que permitan que tanto fabricantes como proveedores de servicios, laboratorios independientes y usuarios finales puedan medir el rendimiento de hardware y redes Wi-Fi. Se prevé que esté finalizada para 2009 y se le añade una T mayúscula porque no constituirá una norma, sino una mejora.

- **802.11u *InterWorking with External Networks***: Desarrollada por el grupo de trabajo TGu, también conocido como *Grupo de Estudio de Redes Externas con Redes de Internet Inalámbricas (WIEN SG, Wireless Internetworking with External Networks Study Group)*, con el objetivo de facilitar la interoperabilidad con redes externas. Surge por la necesidad de especificación de los requisitos y las interfaces entre redes 802.11 y otras

redes externas como las redes celulares de móviles y además contribuir con la proliferación de hot spots<sup>4</sup> y dispositivos móviles con conectividad Wi-Fi. Las previsiones oficiales del IEEE retrasan la publicación de este estándar hasta marzo de 2009.

- **802.11v *Wireless Network Management***: Introducirá pequeños cambios en las capas PHY y MAC para mejorar la configuración y gestión de dispositivos Wi-Fi mediante el *Protocolo Principal de Señalización de Redes (SNMP, Signaling Network Main Protocol)* y otros protocolos. Los trabajos acabarán a principios de 2010.

- **802.11w *Protected Management Frame***: Este estándar, evitará cortes de servicio causados por atacantes que falsifiquen peticiones de desasociación aparentando proceder de sistemas válidos. Se crea para aumentar la seguridad introduciendo mejoras en la capa MAC. Se pretende solucionar una vulnerabilidad de las redes Wi-Fi, consistente en que se envíe información de gestión en paquetes no protegidos. Se prevé que esta norma sea publicada a finales de 2008.

- **802.11y**: Su aprobación está prevista para el 2008 y responde a los requerimientos de la normativa radioeléctrica estadounidense para el uso de la banda de 3650-3700 MHz.

## **1.4 Tecnologías en WLAN**

Las WLAN, hacen uso de las ondas electromagnéticas para transmitir información de un punto a otro sin la existencia de conexiones físicas. Existen varias posibilidades empleadas en las WLAN para lograr esa transmisión. Una de ellas es por ondas infrarrojas (Infra Red), pero este método se limita a la línea de vista o a distancias cortas, y la otra es por ondas de radio frecuencia (RF), que son más usadas debido a que poseen más poder de penetración a través de los objetos que las IR. Las WLAN emplea la tecnología de *Espectro Extendido (SS, Spread Spectrum)* para modular las ondas de RF.

### **1.4.1 Espectro extendido (SS)**

Esta técnica está estipulada por la FCC con el objetivo de minimizar la interferencia, tiene potencia de transmisión máxima de 1 watt y opera en al banda ISM. La tecnología de SS, consiste en difundir la señal de información a lo largo del ancho de banda disponible, es

---

<sup>4</sup> Se entiende como punto caliente, son lugares para realizar reuniones con estaciones inalámbricas

decir, en vez de concentrar la energía de las señales alrededor de una portadora concreta, lo que se hace es repartirla, por toda la banda disponible. Así, la densidad promedio de energía es menor en el espectro equivalente que la de la señal original. Este ancho de banda total se comparte con el resto de usuarios que trabajan en la misma banda de frecuencia. El receptor del espectro extendido usa el conocimiento de cómo se hizo para comprimir la señal recibida y recuperar la señal de dato original. Proporciona gran robustez con respecto a la interferencia y al desvanecimiento resultante de la propagación de multitrayecto. Esta técnica tiene a su vez dos variantes: Salto de Frecuencia (FHSS) y Secuencia Directa (DSSS).

### **1.4.1.1 Espectro Extendido por Secuencia Directa (DSSS)**

En este método el flujo de bits de entrada se multiplica por una señal de frecuencia mayor, basada, en una función de propagación determinada. El flujo de datos original, puede ser entonces recobrado en el extremo receptor, correlacionándolo con la función de propagación conocida. Para el uso de esta tecnología se necesita un procesador de señal digital para correlacionar la señal de entrada. Esta técnica, consiste en la generación de un patrón de bits redundante llamado señal de chip para cada uno de los bits que componen la señal de información y la posterior modulación de la señal resultante mediante una portadora de RF. En el receptor es necesario realizar el proceso inverso para obtener la señal de información original. La secuencia de bits utilizada para modular cada uno de los bits de información es la llamada secuencia de Barker.

DSSS tiene definidos dos tipos de modulaciones a aplicar a la señal de información para velocidades de 1 Mbps y 2 Mbps (Ver tabla 1.1).

En Estados Unidos y Europa, la tecnología DSSS opera en el rango que va desde los 2.4 GHz hasta los 2.4835 GHz, es decir, con un ancho de banda total disponible de 83.5 MHz. Este ancho de banda total se divide en un total de 14 canales con un ancho de banda por canal de 5 MHz, de los cuales cada país utiliza un subconjunto de los mismos según las normas reguladoras para cada caso particular. En el caso de España, se utilizan los canales 10 y 11 ubicados en una frecuencia central de 2.457 GHz y 2.462 GHz respectivamente.

Tabla 1.1. Ejemplos de Modulación para 802.11.

<b>Velocidad</b>	<b>Técnica de modulación empleada</b>
1 Mbps	<i>Modulación por desplazamiento de la fase de dos estados (BPSK, Binary Phase Shift Keying). BPSK utiliza un desplazamiento de fase para cada bit.</i>
2 Mbps	<i>Modulación cuaternaria por desplazamiento de fase (QPSK, Quadrature Phase Shift Keying). QPSK utiliza cuatro fases (0°, 90°, 180°, 270°) para codificar dos bits de información.</i>

*Fuente: (Bates, 2003)*

Una de las ventajas de DSSS con respecto a FHSS es que la itinerancia<sup>5</sup> es menos complicada, ya que éstos siempre transmiten en un único canal; sin embargo, tiene varios inconvenientes dada la necesidad de componentes más rápidos y caros, además de un mayor consumo y requisitos.

#### **1.4.2 Otras tecnologías de radio de redes WLAN**

Las WLAN no sólo utilizan las técnicas de espectro extendido, sino que también emplean: OFDM, CCK, CCK/OFDM y la *Codificación Convolutiva de Paquetes Binarios (PBCC, Packet Binary Code Convolutional)*; las dos primeras son de carácter obligatorio, mientras que las dos restantes son opcionales, antes de caracterizar cada una de ellas es necesario explicar en qué consisten los campos que conforman estas técnicas: Preamble/Header (Preámbulo/Cabecera) y Payload (Carga) (Fig. 1.4).

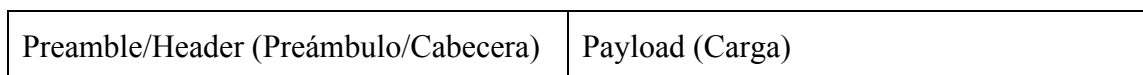


Figura 1.4. Partes principales del paquete de datos.

El Preámbulo/Cabecera sirve para alertar a todos las estaciones que comparten un canal determinado, que la transmisión de los datos empieza. Es una secuencia de unos y ceros que permite un tiempo para que los radios estén listos para recibir datos. Cuando el preámbulo está completo el receptor debe estar listo para recibir datos. La cabecera inmediatamente sigue al preámbulo y lleva varios segmentos importantes de información.

<sup>5</sup> Cuando en un entorno típico dos o más AP proporcionarán señales a un único cliente.

Entre estos está la longitud de la carga. La carga, puede variar significativamente en longitud, dependiendo de la razón de datos y el número de bytes que están siendo transmitidos. La carga puede ser muy corta (un poco menos de 64 bytes) o muy larga (hasta 1500 bytes).

En la mayoría de los casos, el Preámbulo/Cabecera y la carga son enviados empleando el mismo formato (por ejemplo CCK). Sin embargo hay excepciones a esta regla en los elementos opcionales del estándar IEEE 802.11g (Zyren, 2001).

### 1.4.2.1 Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM)

El sistema de multiplexación por división de frecuencias ortogonales, consiste, en enviar la información sobre un múltiplex de muchas portadoras “adecuadamente espaciadas” en frecuencia (Álvarez et al., 2005:181). La información puede ser modulada por la *Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM, Cuadratura Amplitud Modulation)* o en PSK. La ortogonalidad, posibilita que el espaciamiento entre portadoras sea óptimo, evitando la interferencia entre sí. Este espaciamiento consiste, en que la separación espectral entre portadoras consecutivas, sea siempre la misma e igual al inverso del período de símbolo. La utilización de las portadoras ortogonales permite por un lado lograr la identificación y el desvanecimiento selectivo y por otro obtener una mayor eficiencia espectral. La tecnología OFDM, permite además, eliminar la *Interferencia Inter Símbolos (ISI, Inter Symbol Interference)* y reduce la diafonía (efecto de cruce de líneas) durante la transmisión de la señal, maneja muy bien el ruido y los cambios de impedancia. Como ventaja, simplifica el problema de propagación multitrayecto. En OFDM la longitud del preámbulo, es la más corta comparada con otras tecnologías. Un preámbulo corto es deseable porque resulta menos overhead<sup>6</sup> en la red. Los sistemas OFDM emplean OFDM para el Preámbulo/Cabecera y para la carga.

Esta tecnología es utilizada por diferentes sistemas entre los que se destacan: la *Televisión Digital Terrestre (DVB-T, Digital Video Broadcasting-Terrestrial)*, la *Radio Digital (DAB, Digital Audio Broadcasting)*, el protocolo de enlace *Línea de Subscriptor Digital Asimétrico (ADSL, Asymmetric Digital Subscriber Line)*, el sistema de transmisión

---

<sup>6</sup> Se refiere a que resulta menos gasto en la red, que los paquetes no van tan llenos.

inalámbrica de datos WiMAX, Hiperlan 2 y en específico por las WLAN. En este último caso, la utilizan específicamente los estándares IEEE 802.11a e IEEE 802.11g. La técnica OFDM puede coexistir e interoperar con dispositivos 802.11b.

En el caso del estándar IEEE 802.11a, las señales de datos son divididas en 52 subportadoras, separadas para proveer velocidades de transmisión de 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, ó 54Mbps. Para cada una de las subportadoras se utilizan técnicas de modulación como: BPSK, QPSK y QAM, en dependencia de la tasa de transmisión de los datos seleccionados como se puede apreciar en la tabla 1.2.

Tabla 1.2. Modulación y Codificación para razones de datos OFDM.

<b>Razones de datos (Mbps)</b>	<b>Modulación</b>	<b>Razón de Código</b>	<b>Códigos de Bit por Subportadora</b>	<b>Códigos de Bit por símbolo OFDM</b>	<b>Datos de Bit por Símbolo OFDM</b>
6	BPSK	1/2	1	48	24
9	BPSK	3/4	1	48	36
12	QPSK	1/2	2	96	48
18	QPSK	3/4	2	96	72
24	16 QAM	1/2	4	192	96
36	16 QAM	3/4	4	192	144
48	64 QAM	1/2	6	288	192
54	64 QAM	3/4	6	288	216

*Fuente: CommsDesign*

En el caso de la norma IEEE 802.11g, la técnica OFDM cambia a la frecuencia a 2.4 GHz. La exactitud en la frecuencia es de  $\pm 25$  ppm. El máximo nivel para la señal de entrada es de -20 dBm. El slot time es de 20  $\mu$ s de acuerdo a 802.11b, opcional 9  $\mu$ s. El *Tiempo Entre Tramas (SIFS, Short Inter Frame Space)*, es de 10  $\mu$ s de acuerdo a IEEE 802.11b.

#### **1.4.2.2 Conmutación de Códigos Complementarios (CCK)**

Es un sistema de una sola portadora, donde todos los datos son transmitidos por la modulación de una sola frecuencia de radio o portadora. Constituye una variante a la modulación por conmutación de M alternativas ortogonales (*M-ary orthogonal keying*) y se basa en una constelación de portadoras fase y cuadratura, utilizando símbolos complejos. Es un método de codificación o la forma básica de modulación de la técnica DSSS usado en el estándar 802.11b para velocidades de 5.5 y 11 Mbps.

CCK, consiste en 64 símbolos de 8 chips de codificación modulados con DQPSK, comparado con la codificación de Barker que usa solo uno. Los bits de datos son codificados de forma diferente para las velocidades de 5.5 Mbps y 11 Mbps. Para la primera, 4 bits de datos son enlazados con una palabra de código, mientras que para la segunda son de 8 bits de datos. Cuando se utiliza CCK, el preámbulo/cabecera y la carga son transmitidos empleando CCK (Sotolongo y Poveda, 2006).

#### **1.4.2.3 Conmutación de Códigos Complementarios/Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (CCK/OFDM)**

Constituye un método híbrido de codificación de espectro extendido. Está diseñado para facilitar el uso de las formas de onda de OFDM soportando compatibilidad con CCK. Además transmite el Preámbulo/Cabecera en una sola frecuencia de radio mediante CCK y la carga en múltiples frecuencias por medio de OFDM. Este híbrido representa una opción en el estándar IEEE 802.11g que está diseñado para evitar colisiones con las redes 802.11b que utilizan el método CCK.

Cuando se opera en la presencia de dispositivos Wi-Fi existentes, la cabecera CCK es transmitida para alertar a todos los dispositivos, que la transmisión está por empezar y para informar a estos dispositivos de la duración de la misma. La carga puede ser transmitida a una razón mucho mayor usando OFDM.

#### **1.4.2.4 Codificación Convolutiva de Paquetes Binarios (PBCC)**

Es una solución de simple portadora apoyada por Texas Instruments (TI). Emplea una señal de constelación más compleja 8-PSK comparada con la BPSK/ QPSK utilizada por CCK. Posee una estructura de codificación convolutiva en comparación con la estructura de codificación de bloque utilizada en CCK. Así, el mecanismo de decodificación, es completamente diferente. Al igual que CCK/OFDM, PBCC, se describe como un híbrido, utilizando CCK para transmitir la porción Preámbulo/Cabecera de cada paquete y PBCC para transmitir la carga. La máxima razón de datos que incluye PBCC para el estándar 802.11g, es de 33Mbps. Se debe señalar que PBCC fue incluido como un elemento optativo del estándar original IEEE 802.11b (Zyrem, 2001).

## 1.5 Bandas de Frecuencia

Las redes inalámbricas de área local hacen uso de las bandas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*). Estas son bandas asignadas por la UIT, están reservadas internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en áreas industriales, científicas y médicas, y su uso está abierto a todo el mundo sin necesidad de licencia, respetando las regulaciones que limitan los niveles de potencia transmitida. Las bandas ISM están definidas en los rangos de 902–928 MHz (banda 915 MHz), 2.4–2.4835 GHz (banda 2.4 GHz), y 5.725–5.85 GHz (banda 5.8 GHz) (Fig. 1.5). Las WLAN utilizan las dos últimas que se encuentran en el espectro de *Muy Alta Frecuencia (VHF, Very High Frequency)* y *Súper Alta Frecuencia (SHF, Super High Frequency)* respectivamente.

En EE.UU. también está definida una banda de uso libre en 5 GHz, la banda *Infraestructura de Información Nacional Sin Licencia (UNII, Unlicensed National Information Infrastructure)*. En Europa, esta banda está sometida a restricciones para evitar interferencias con otros sistemas de radio. La banda UNII está formada por tres sub-bandas, UNII1 (5.15 - 5.25 GHz), UNII2 (5.25 - 5.35 GHz) y UNII3 (5.725 - 5.825 GHz) (Fig. 1.5).

El ancho de banda total disponible en la banda de 5 GHz es mayor que en la banda de 2,4 GHz (300 MHz por 83,5 MHz).

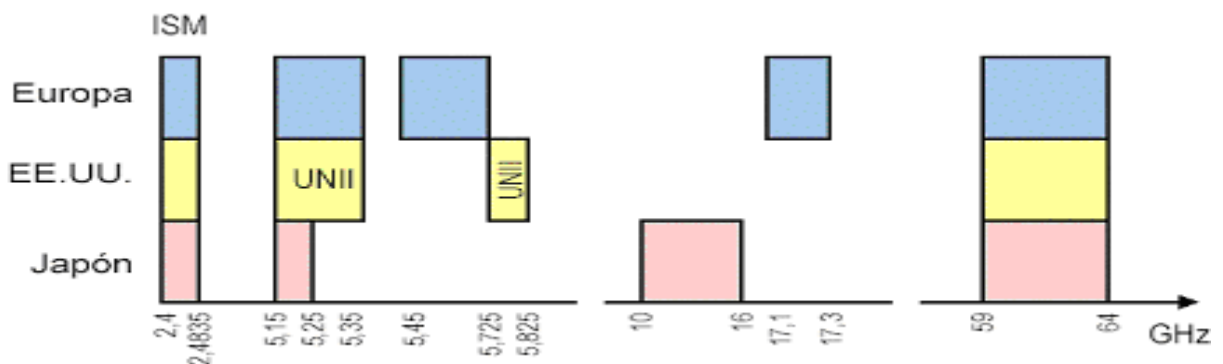


Figura 1.5. Bandas de frecuencias para WLAN.

## 1.6 Acceso al medio

El acceso es clave para la tecnología que se sustenta en el entorno de radio, por ser un medio compartido, al que todos los usuarios deben acceder. Los mecanismos de acceso se implementan sobre la capa MAC, de la capa de enlace. La capa MAC de IEEE 802.11 controla el acceso ordenado al medio mediante dos técnicas; la *Función de Coordinación*

*Distribuida (DCF, Distributed Coordination Function)* y la *Función de Coordinación Puntual (PCF, Point Coordination Function)* (Redes de Acceso de Banda Ancha Navarra, 2007).

### **1.6.1 Función de Coordinación Distribuida**

La función de coordinación se define, como la funcionalidad que determina, cuándo una estación dentro de BSS está autorizada para transmitir y cuándo está habilitada para recibir unidades de datos de protocolo por el medio inalámbrico (León-García y Widjaja, 2005). Se encuentra en el nivel inferior del subnivel MAC y su funcionamiento se basa en técnicas de acceso aleatorias de contención por el medio. El tráfico que se transmite bajo esta funcionalidad es de carácter asíncrono, ya que estas técnicas de contienda introducen retardos aleatorios y no predecibles, no tolerados por los servicios sincrónicos. Utiliza como protocolo de acceso al medio *MACA (Multi Access Collision Avoidance)*, que no es más, que CSMA/CA con RTS (*Request to send*) y CTS (*Clear to send*), ésta es una variante del CSMA/CA.

#### **1.6.1.1 Protocolo de acceso al medio**

En las redes inalámbricas, no es posible escuchar el canal y transmitir la información de manera simultánea, por lo que no es posible percatarse de la existencia de colisiones, pudiendo entonces saturar al receptor de la información. CSMA/CA es el algoritmo básico de acceso de las WLAN, para reducir al máximo el número de colisiones existentes. Este protocolo tiene dos métodos de funcionamiento:

- CSMA/CA: Cuando un nodo recibe un paquete a transmitir, primero escucha para asegurarse de que ningún otro está transmitiendo. Si el canal está despejado entonces transmite, si no, elige un factor aleatorio de retraso (*random back-off*) que determina el tiempo que debe esperar para poder transmitir. El nodo transmisor decrementará su contador de retraso durante los periodos en los que el canal esta libre. Cuando el contador de retraso alcanza el valor cero, el nodo transmite el paquete (Bates, 2003).

CSMA/CA en un entorno inalámbrico presenta dos problemas principales, el de los nodos ocultos cuando una estación cree que el canal está libre, pero está ocupado por otro nodo que no oye, y el de nodos expuestos cuando una estación cree que el canal está ocupado,

pero en realidad está libre pues el nodo al que oye no le interferiría para transmitir a otro destino.

- MACA: Cuando se desea transmitir de una estación a otra primero se envía un paquete RTS a la otra, este paquete contiene el tamaño de la trama de datos que quiere transmitir. Si la otra estación acepta, responde con un paquete CTS que contiene una copia del tamaño de la trama de datos que le quiere transmitir la primera estación. Entonces, la primera estación está libre para transmitir, y envía su trama e inicia su temporizador de espera del paquete de acuse de recibo, que le indicará que su trama fue recibida satisfactoriamente. Cuando la segunda estación recibe la trama de datos correctamente, le responde el acuse de recibo (Fig. 1.6).

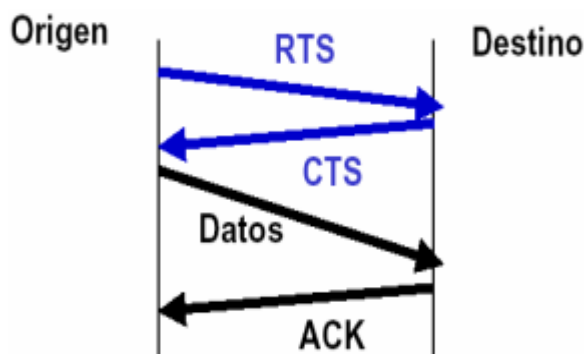


Figura 1.6. Funcionamiento de MACA.

### 1.6.2 Función de Coordinación Puntual

Es una capacidad opcional que puede ser usada para proveer conexión orientada. Está asociada a las transmisiones libres de contención que utilizan técnicas de acceso deterministas. Está pensada para servicios de tipo sincrónico que no toleran retardos aleatorios en el acceso al medio. La función de PCF, es ejecutada por el *punto de coordinación*<sup>7</sup> en el punto de acceso dentro de un BSS, gestiona el acceso al medio mediante un proceso centralizado en el AP. Su funcionamiento se basa en ser compatible con el modo DCF. Los métodos de acceso PCF y DCF pueden operar conjuntamente dentro de una misma celda o conjunto básico de servicios.

---

<sup>7</sup> Se conoce como nodo organizador o director

## 1.7 Seguridad en redes WLAN

Uno de los problemas más graves a los cuales se enfrenta la tecnología inalámbrica, es la seguridad. Estas redes son inseguras por el medio de transporte que emplean. Desde su creación, 802.11, ha proporcionado algunos mecanismos básicos de seguridad.

### Autenticación y control de acceso

**Identificador de Servicios Básicos (SSID, *Service Set Identifier*):** Necesario para establecer una comunicación. El estándar para WLAN, permite dos formas de trabajar con el SSID: Descubrimiento Pasivo, donde el cliente recibe una trama (*beacon frame*)<sup>8</sup> con la información del SSID y donde el AP difunde constantemente unas tramas de información y el Descubrimiento Activo, donde el cliente tiene que conocer el SSID porque el AP no ofrece *beacon frame* (Alonso, 2006). Este SSID también debe conocerlo la tarjeta de red para poder asociarlo con el AP y así proceder con la transmisión y recepción de datos en la red.

**Direccionamiento MAC o filtrado de direcciones MAC:** Se utiliza para evitar que se conecten clientes no deseados. Muchos AP ofrecen opciones para crear listas blancas de equipos que se pueden conectar en función de la dirección MAC de los clientes. Para ello, en el AP, se añaden las direcciones de las máquinas que serán permitidas en la red.

**Contraseñas no estáticas (OTP, *One Time Password*):** Contraseña de un solo uso. Esta contraseña tiene como objetivo, dificultar el acceso de usuarios no autorizados a recursos protegidos. La contraseña es utilizada solo una vez, y se genera una contraseña nueva para la próxima.

**802.1x:** Proporciona un mejor mecanismo en el control y seguridad de acceso. Es un estándar previo para el control de acceso a redes basado en puertos, este proceso, utiliza las características físicas de la infraestructura de las redes interconectadas para autenticar los dispositivos conectados a un puerto LAN. Permite el transporte de tramas de *Protocolo de*

---

<sup>8</sup> Tramas cortas transmitidas para proporcionar: reloj (sincronización de tiempos), parámetros de FH o DS, SSID, mapa de indicación de tráfico y tasas de transmisión soportadas

*Autenticación Extensible (EAP<sup>9</sup>, Extensible Authentication Protocol)* de los usuarios sobre redes cableadas e inalámbricas. La utilización de este estándar, evita que se asocien usuarios no autorizados con cualquiera de los puntos de acceso de la red. En la arquitectura 802.1x además del cliente y el autenticador que suele ser el AP, existe un servidor de autenticación que suele ser un Servidor de *Servicio de Usuarios Telefónico de Autenticación Remota (RADIUS, Remote Authentication Dial-In User Service)*, que intercambiará el nombre y credencial de cada usuario. El servidor RADIUS utiliza para la autenticación de los usuarios, la verificación de certificados y la comunicación con las bases de datos de usuarios que les autentifican en la red local cableada existente (Figueroa y Merino, 2004).

### **Cifrado o Encriptación**

Entre los mecanismos que utilizan las WLAN para la encriptación, se encuentra WEP, que utiliza una palabra clave para autenticarse en redes WEP cerradas y para cifrar los mensajes de la comunicación. Este protocolo es implementado sobre la capa MAC, sólo comprime y cifra los datos que se van a transmitir. Se basa en un esquema de cifrado simétrico en el que la misma clave y algoritmo se utilizan, tanto para el cifrado de los datos, como para su descifrado.

Con el objetivo de realizar una encriptación más segura surge WPA. Está basado en el estándar IEEE 802.11i y sirve para una clave en constante rotación, cada paquete de información lleva una clave completamente diferente a los anteriores. WPA utiliza 802.1x y EAP, como base de su mecanismo de autenticación, haciendo uso de un servidor RADIUS. Existe un modo de trabajo denominado WPA- PSK (*Pre-Shared Key*, Llave Pre Compartida) que únicamente requiere un *password* para acceder al punto de acceso. WPA realiza la encriptación mediante el *Protocolo de Integridad de Clave Temporal (TKIP, Temporal Key Integrity Protocol)* donde cada usuario tiene su propia clave de encriptación, puede ser establecida de modo que cambie periódicamente y la *Codificación de Integridad*

---

<sup>9</sup> Existen múltiples variantes de EAP: EAP-LEAP (*Lightweight EAP*), EAP- TLS (*Transport Layer Security*), EAP-TTLS (*Tunneling Transport Layer Security*) y EAP-PEAP (*Protected EAP*)

*del Mensaje (MIC, Message Integrity Code)* para distribuir claves dinámicas temporales a los clientes y comprobar la integridad de las tramas recibidas.

En el año 2004 aparece WPA2, que es la segunda generación del WPA. Este proporciona encriptación con un fuerte algoritmo llamado *Estándar de Encriptación Avanzada (AES, Advanced Encryption Standard)* y está contemplado también en el estándar IEEE 802.11i.

## **1.8 Conclusiones del Capítulo**

Existen numerosos estándares para redes inalámbricas, entre ellos, IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, etc., los que han sido realizados por el IEEE. Cada uno ellos, aunque con características distintas, tienen como objetivo común lograr la comunicación segura entre dos o varios puntos a través de diferentes topologías.

# *Capítulo 2*



## **CAPÍTULO 2. RADIOPROPAGACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE UN RADIOENLACE**

Las ecuaciones de Maxwell, constituyen un apoyo en el estudio de la propagación de las ondas a través de los medios reales, analizando las soluciones compatibles con las condiciones de contorno que el medio impone. La utilización de las mismas se torna a veces poco práctica, debido a la rigurosidad y complejidad que implican su estudio. Esto conlleva a la búsqueda de nuevas variantes para la determinación de pérdidas de propagación que influyen en el cálculo de la potencia en el receptor, además existen otros términos que caracterizan a un enlace de radio importantes para su comprensión.

### **2.1 Radiopropagación**

El término de radiopropagación no es más que la propagación de las ondas electromagnéticas vía radio frecuencia. La situación del trayecto de propagación respecto a los obstáculos, las características eléctricas del terreno, las propiedades físicas del medio, la frecuencia y polarización de la onda electromagnética, influyen de manera directa en las características de propagación de las mismas (Hernando, 1995).

Según la frecuencia, pueden distinguirse los modos de propagación por:

- Onda de Superficie para frecuencias inferiores a 30 MHz.
- Onda Ionosférica para frecuencias entre los 3 y los 30MHz.
- Onda Espacial para frecuencias superiores a los 30 MHz.
- Onda de Dispersión Troposférica.

Las redes WLAN, utilizan como modo de propagación de las ondas de radio, la Onda Espacial donde la propagación se realiza a través de las capas bajas de la atmósfera terrestre (Troposfera).

### **2.2 Conceptos**

Para el estudio de las redes WLAN, es necesario explicar algunos conceptos, que sientan las bases para el posterior análisis y dimensionamiento de un enlace.

**Clasificación de los entornos:** Se clasifican atendiendo a varios parámetros:

- Para medir el rendimiento de una red WLAN es necesario analizar el entorno físico circundante, en cuanto al entorno físico se clasifican en elementos estáticos y dinámicos.
- Por las cualidades del entorno se clasifican: en interior (*indoor*) o exterior (*outdoor*).
- Con respecto al análisis de la zona de cobertura, este se subdivide en otras áreas de menor tamaño o células, y la clasificación está en dependencia de su radio, existen las macro-células pequeña y extensa, micro-célula y pico-célula.

**Zonas de Fresnel:** Se definen como las formas elípticas o elipsoides (elipse en revolución) que rodean la trayectoria visual entre el emisor y el receptor de una onda electromagnética sin obstrucción. Estas zonas quedan establecidas porque la propagación de las ondas de radio entre los dos puntos, no es en línea recta, debido a consideraciones de dispersión. Las dimensiones de las zonas de Fresnel varían en dependencia de la longitud del recorrido y la frecuencia de la señal. El radio de las zonas de Fresnel se calcula como sigue:

$$R_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (2.1)$$

El término  $n$  dentro de la expresión, se refiere a una zona determinada, por ejemplo para calcular el radio de la primera zona de Fresnel  $n = 1$ . Los términos  $d_1$  y  $d_2$  se refieren a las distancias del transmisor al obstáculo más crítico, y de este último al receptor (Fig. 2.1). En la expresión la suma de  $d_1$  y  $d_2$  se refiere la distancia que hay entre los puntos del enlace, que viene representada en la figura por  $D$  (Fig. 2.1).

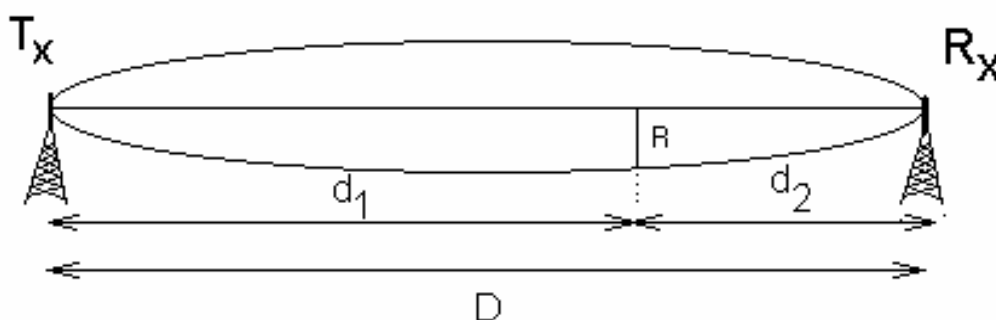


Figura 2.1. Primera zona de Fresnel.

En la práctica es necesario que al menos el 60% de la primera zona de Fresnel esté libre de obstáculos.

**LOS (Line-of-sight), línea visual:** Es una línea imaginaria que existe entre el transmisor y el receptor de forma tal que ambos se vean. La línea visual que se necesita para tener una conexión inalámbrica óptima, desde el transmisor hasta el receptor, es más que simplemente una línea delgada, su forma es parecida a un elipsoide.

**NLOS (Non-Line-of-sight), fuera de la línea visual:** Se produce cuando entre el transmisor y el receptor la visibilidad es bloqueada totalmente.

**OLOS (Obstructed-line-of-sight), línea visual obstruida:** Ocurre, cuando parte de la línea visual queda obstruida de forma parcial por un objeto.

Las redes de área local inalámbricas trabajan en condiciones de LOS.

### **2.3 Mecanismos de propagación**

Las señales electromagnéticas se propagan por medio de varias formas entre una antena transmisora y una receptora. Si el medio en que se propagan fuera totalmente uniforme las ondas, se moverían en línea recta. Para las frecuencias de SHF donde la ionosfera se hace transparente, la propagación en espacio libre es modificada por el suelo (reflexión y difracción) y por la troposfera (refracción, absorción y dispersión).

#### **2.3.1 Reflexión, Refracción y Absorción**

Primeramente las ondas provenientes de un medio inciden sobre la superficie de otro, parte de la energía de la ondas se refleja (cambio en la dirección de propagación) dentro del primer medio, a la vez que otra parte de la energía es transmitida o refractada (cambio en la dirección de propagación producto de cambio de un medio a otro) en el segundo, y por otro lado una tercera porción se absorbe (cuando las ondas electromagnéticas atraviesan algún material). Mientras los conductores perfectos reflejan toda la señal, otros materiales reflejan sólo parte de la energía de la onda incidente y transmiten el resto.

La reflexión y la refracción influyen notablemente en la propagación de la onda en interiores, principalmente en las paredes, pisos, techos, muebles y múltiples equipos. Este fenómeno depende tanto de las propiedades físicas (superficies geométrica, textura, grosor

y composición del material) como de la señal (ángulo incidente, orientación, polarización, y longitud de onda). De aquí que un conductor perfecto refleja el 100% de la energía incidente mientras que un dieléctrico, refleja por ejemplo parte de la energía dependiendo del ángulo de la incidencia, y refracta el resto. Para un ángulo de incidencia cercano a  $0^\circ$ , la onda es reflejada en su totalidad, en cambio, para uno cercano a los  $90^\circ$ , ésta se refracta. En general, un material refleja parte de energía, refracta otra parte y absorbe el resto. La reflexión también introduce un desplazamiento de fase de  $180^\circ$  que determina el efecto de distorsión multitrayecto (García Amores, 2004).

### **2.3.2 Difracción**

La difracción es el fenómeno por el cual un obstáculo que se opone a la propagación libre de las ondas, se presenta como una fuente secundaria que emite ondas derivadas en todas las direcciones. Gracias a este fenómeno las ondas rodean al obstáculo y consiguen salvarlo, parte de la energía pasa a través de este, en el punto más alto. Cuanto mayor sea la frecuencia de la transmisión mayores serán las pérdidas. En la difracción se genera una pérdida de potencia, la potencia de la onda difractada es significativamente menor que el frente de onda que la provoca. El principio de Huygens, explica el fenómeno, ante el cual todos los puntos en un frente de onda actúan como generadores de ondas secundarias. Cuando al incidir sobre un objeto la onda da la impresión de doblarse. También se habla de difracción Las microondas, con una longitud de onda de varios centímetros, muestran los efectos de la difracción cuando chocan contra paredes, picos de montañas u otros obstáculos.

### **2.3.3 Dispersión**

Se produce, cuando en el camino, la señal se encuentra con objetos cuyas dimensiones son pequeñas con respecto a la longitud de onda. Como resultado, el frente de onda se rompe o dispersa en múltiples direcciones. Las ondas dispersas son producidas por superficies desiguales, pequeños objetos y otras irregularidades presentes en el canal. En la práctica, el follaje, señales de tráfico o farolas pueden provocar dispersión en sistemas de comunicaciones inalámbricos.

## 2.4 Interferencia, ruido y distorsión

En las redes WLAN el medio en que se transmite, el aire, introduce pérdidas y diferentes tipos de perturbaciones a pesar de que el transmisor y el receptor, unidos a sus antenas hacen posible la comunicación. Entre las perturbaciones se encuentran: interferencia, ruido y distorsión que atentan contra la originalidad de la onda que llega al receptor proveniente del transmisor (Fig. 2.2). Múltiples son las fuentes de ruido, interferencia y distorsión.

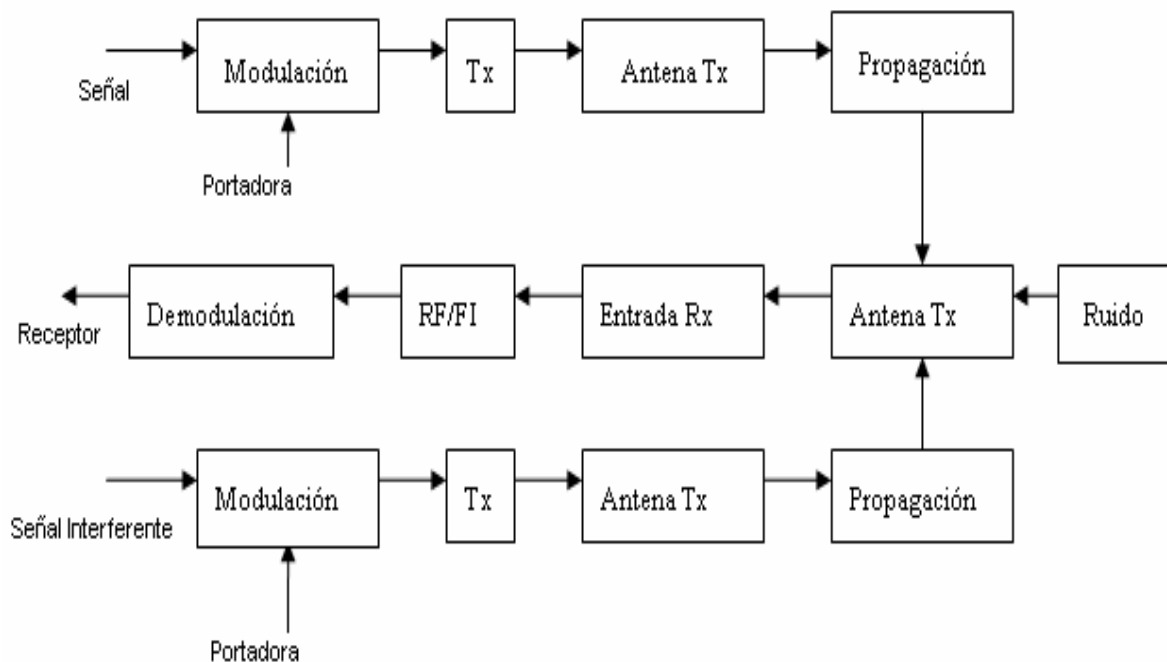


Figura 2.2. Perturbaciones que pueden afectar la señal.

### 2.4.1 Interferencia

La interferencia es un tipo de perturbación que afecta el buen funcionamiento de un sistema radioeléctrico. Las interferencias según Hernando (1995), se pueden clasificar en dependencia del número de fuentes: en simples, cuando hay una sola señal interferente y en múltiples, cuando existen varias fuentes interferentes. También se distinguen entre interferencia cocanal y de canales adyacentes.

**Interferencia Canal Adyacente:** La frecuencia de la señal interferente corresponde a canales contiguos al deseado.

**Interferencia Cocanal:** La interferencia se produce en la misma frecuencia portadora que la de la señal deseada.

En esta última Wang y Poor (2003), se refieren a ésta como la interferencia de señales de redes diferentes, pero que están operando en la misma banda de frecuencia.

García Fernández (2005) reconoce además otro tipo de interferencia conocida como ISI

**Interferencia Ínter Símbolos:** La presencia de trayectos múltiples en propagación de radio es un fenómeno que se debe a las reflexiones (ecos) de las ondas sobre el suelo o los obstáculos presentes en el trayecto que une el emisor al receptor. En transmisión digital, este fenómeno es la causa de desvanecimientos de la señal recibida, produciendo una fuerte degradación de la tasa de error.

Existen dispositivos que utilizan la misma frecuencia de las redes WLAN que también pueden ser fuente de interferencias como hornos microondas y ciertos teléfonos inalámbricos, además de otros tipos de redes inalámbricas.

#### **2.4.2 Ruido**

Es la señal no deseada presente siempre en un sistema eléctrico, influye de manera negativa en la capacidad del receptor limitando la velocidad del enlace, puede ser provocado por fuentes naturales y artificiales. Las fuentes naturales se clasifican en externas e internas al sistema.

**Ruido Natural:** Las fuentes de ruido se deben a la radiación producida por elementos naturales: tierra, cielo, considerados como cuerpos negros y los efectos del medio (lluvias, gases atmosféricos sobre esta radiación). Las tormentas que generan energía electromagnética producen descargas eléctricas dando origen así al ruido atmosférico. El ruido atmosférico suele ser de carácter impulsivo, con fluctuaciones de gran intensidad y rapidez (Hernando, 1995).

**Ruido Artificial o Industrial:** Este tipo de ruido aparece como consecuencia de diferentes actividades de carácter industrial, así como la tracción de vehículos, transporte y distribución de energía eléctrica, entre otros. El espectro del ruido artificial disminuye al aumentar la frecuencia.

**Ruido Térmico:** Este tipo de ruido es producido por el movimiento de las cargas libres en los conductores debido a su agitación térmica, se presenta en amplificadores, atenuadores y en cuadripolos, además, de que puede ser captado por la antena (Matos, 2005).

#### **2.4.1 Distorsión**

Se define la distorsión como la relación de las potencias medias de error y de señal. Es la diferencia entre la señal que entra a un equipo o sistema y la señal de salida de mismo. Puede definirse también como la deformación que sufre una señal tras su paso por un sistema. La distorsión puede ser lineal o no lineal. Para el caso de las redes WLAN, se manejan los términos de Distorsión por Intermodulación y por Multitrayecto.

**Distorsión por Intermodulación:** Distorsión no lineal en un sistema, caracterizada por la aparición en la salida de frecuencias que son combinaciones lineales de las frecuencias fundamentales y sus armónicos presentes en la señal de entrada (García Fernández, 2005). Es el resultado de la interacción entre dos o más señales en el interior de un dispositivo no lineal, produciendo a su salida otras señales no deseadas. Estas señales adicionales que aparecen a la salida del dispositivo se conocen con el nombre de productos de intermodulación (Ramos, 2005).

**Distorsión por Multitrayecto:** Se produce cuando diversas ondas con variaciones respecto a la original, viajan por múltiples trayectorias hasta llegar al receptor. En dependencia de los desplazamientos de fase, estas ondas pueden combinarse en el receptor y conducir a una interferencia constructiva, la cual ocurre cuando la señal resultante se origina a partir de contribuciones con iguales fases, con una fuerza mayor que sus componentes individuales o a una interferencia destructiva que ocurre a partir de contribuyentes con fases opuestas, originando una señal débil. Para reducir la distorsión conocida como pérdidas por multitrayecto debido a reflexiones se utilizan los sistemas de diversidad (García Amores, 2004).

### **2.5 Análisis de las características de un radioenlace.**

Un enlace de radio consta de tres componentes fundamentales: el transmisor, el receptor y el canal aéreo. El transmisor es el responsable de modular una señal digital a la frecuencia utilizada para transmitir, el canal aéreo representa un camino abierto entre el transmisor y el

receptor, y el receptor es el encargado de capturar la señal transmitida y llevarla de nuevo a señal digital. El factor limitante de la propagación de la señal en enlaces de microondas es la distancia que se debe cubrir entre el transmisor y el receptor, además, esta distancia debe ser libre de obstáculos en algunos casos. Otro aspecto que se debe señalar es que en estos enlaces, el camino entre el receptor y el transmisor debe tener una altura mínima sobre los obstáculos en el trayecto.

Un radioenlace está caracterizado por tres elementos básicos:

- Energía efectiva emitida o potencia radiada: En ella intervienen la energía emitida o potencia del transmisor, las pérdidas (cables y conectores) y la ganancia de la antena transmisora.
- Pérdidas en la propagación: Dependen de las condiciones de propagación.
- Sensibilidad efectiva de recepción: Depende de la ganancia de la antena receptora, de las pérdidas en los cables y la sensibilidad del receptor.

Tabla 2.1. Niveles de potencia de transmisión para diferentes regiones.

<b>Máxima potencia de salida</b>	<b>Localización geográfica</b>	<b>Documento de complacencia</b>
1000mW	EE.UU.	FCC 15.247
100mW	Europa*	ETS 300-328
10mW	JAPON	MPT Ordinance 79

*Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática de Perú*

### **2.5.1 Tipos de antenas**

Existen diferentes tipos de antenas, cada una de las cuales tiene una aplicación y entorno de uso específico, ofreciendo una capacidad de cobertura determinada. Normalmente, bajo las mismas condiciones del enlace, a medida que la ganancia de una antena se incrementa se alcanzan distancias de cobertura mucho mayores, pero sólo en una dirección determinada. Las antenas pueden ser omnidireccionales, sectoriales o directivas (Ver Anexo III).

**Antenas Direccionales:** Son capaces de enfocar toda la señal que le aplica la tarjeta o punto de acceso, a una dirección concreta, con mayor o menor grado de directividad en

---

\* Excepto Francia que el límite es 7 dBm (5 mW)

función del modelo y características (Fig. 2.3). Normalmente se usan para establecer enlaces punto a punto o para enlazar con un nodo que tenga una antena Omnidireccional. El ancho del haz, es angosto. Tienen la ganancia alta por lo tanto se utilizan para enlaces a larga distancia. Existen varios tipos de antenas direccionales o directivas como son las Yagi, las biquad, las de bocina, las helicoidales, las antenas path, los platos parabólicos, etc.

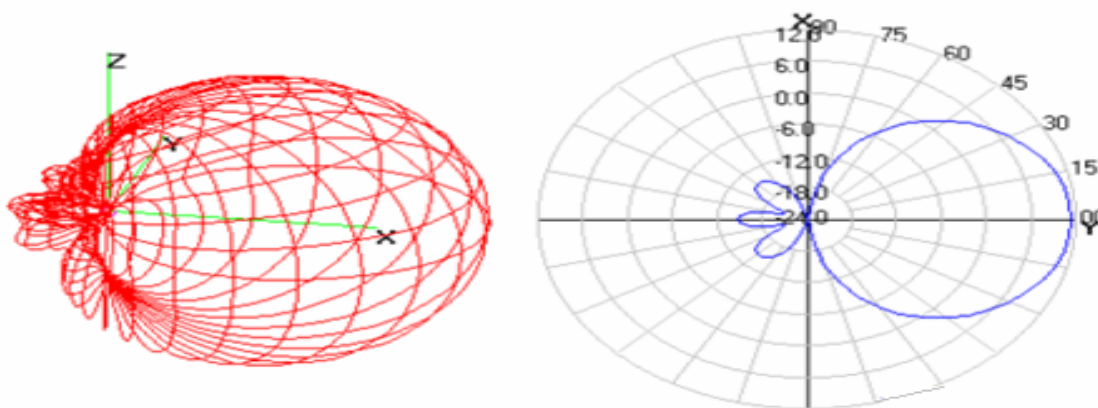


Figura 2.3. Patrón de radiación de una Antena Direccional.

**Antenas Omnidireccionales:** Están diseñadas para proveer un patrón de radiación de 360° (Fig. 2.4). Propagan la señal de RF en todas las direcciones en el plano horizontal, aunque tienen un rango limitado en el plano vertical.

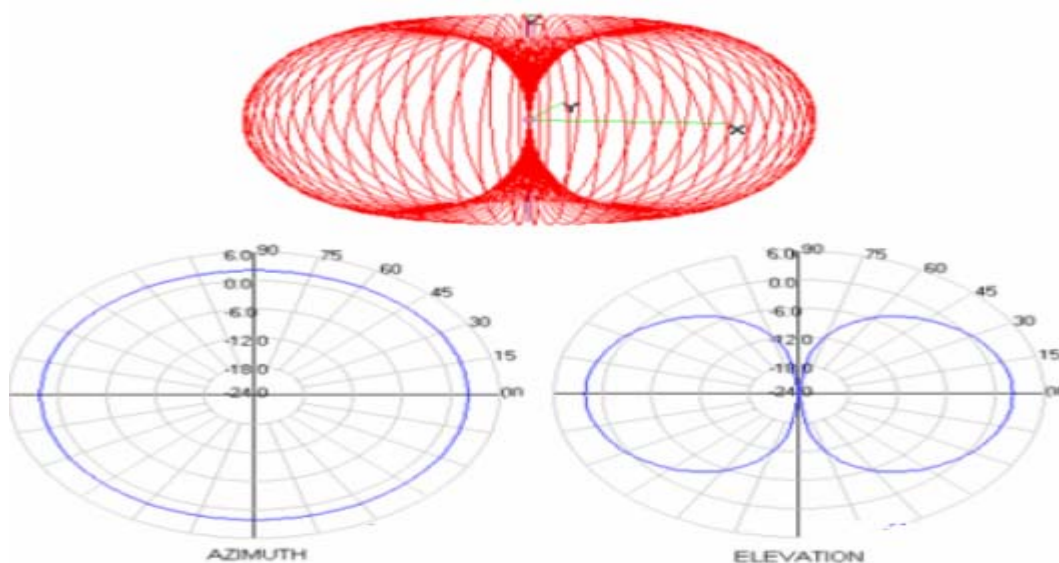


Figura 2.4. Patrón de radiación de una Antena Omnidireccional.

Son las más comunes en WLAN y se utilizan cuando se requiere dotar de cobertura en todas las direcciones. Proporcionan la cobertura más amplia dentro de edificios, pudiendo formar celdas circulares muy poco solapadas a lo largo del edificio. La mayoría de los puntos de acceso estándar disponen de una antena omnidireccional de baja ganancia. Los tipos más populares de antenas omnidireccionales son los dipolos y las de plano de tierra.

**Antenas Sectoriales:** Irradian principalmente en un área específica. El haz puede ser tan amplio como 180 grados, o tan angosto como 60 grados. Las antenas sectoriales se utilizan cuando se necesita conectar lugares distantes y de área extensa. Cubren un ángulo mayor, se que se conoce como sector. Tiene mayor alcance que las antenas omnidireccionales y menor que las direccionales (Ver Anexo V).

### 2.5.2 Pérdidas en los cables

Las pérdidas que introducen los cables afectan la eficiencia del enlace. En dependencia del tipo de cable que se utilice y la distancia que cubren serán los valores de las pérdidas.

Tabla 2.2. Ejemplo de valores de pérdidas en los cables.

<b>Tipos</b>	<b>Valores de Pérdidas</b>
RG 58 (muy común, usado para Ethernet)	1 dB/metro
RG 213 (más grueso, muy común)	0.6 dB/metro
RG 174 (delgado, como el usado por cables adaptadores pigtail*)	2 dB/metro.
Aircom	0.21 dB/metro.
Aircell	0.38 dB/metro.
HDF-400	0.24 dB/m
LMR-400	0.22 dB/m

*Fuente: MicroAlcarria*

### 2.5.3 Fórmulas de Friis para el enlace

Para caracterizar un enlace radioeléctrico es necesario analizar los balances de potencia. Se entiende por pérdidas básicas de propagación, al cociente entre la potencia transmitida por una antena isotrópica y la potencia recibida por otra antena isotrópica, ambas potencias se expresan en las mismas unidades (watt, mwatt) (Hernando, 1995).

---

\* Un pigtail o latiguillo es un trozo de cable que lleva en cada uno de sus extremos un conector. Su utilidad es la de unir un dispositivo wireless (punto de acceso, tarjeta pcmcia, tarjeta pci, etc.).

$$l_b = \frac{P_t}{P_r} \quad (2.2)$$

Expresada en Decibeles (dB), estas pérdidas se definen como la diferencia entre las potencias que están expresadas en forma logarítmica.

$$L_b = P_t - P_r \quad (2.3)$$

### **2.5.3.1 Enlace en condiciones de espacio libre**

En un sistema de radiocomunicaciones siempre interviene en alguna medida el medio de propagación. El caso ideal de propagación en espacio libre se toma como marco de referencia, además se utiliza para determinar la pérdida de propagación mínima que se espera en un enlace.

$$l_{bf} = \frac{P_t}{P_r} = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (2.4)$$

Donde  $\lambda$  es la longitud de onda con respecto a la frecuencia con que se utiliza para el caso de las WLAN (2.4 GHz o 5 GHz) y  $d$  es la distancia que hay entre las antenas. El subíndice  $f$  se refiere a las pérdidas en condiciones de espacio libre (free). Expresándolas en términos de dB:

$$L_{bf} (dB) = 32,45 + 20 \log f (MHz) + 20 \log d (km) \quad (2.5)$$

En conclusión las pérdidas básicas de propagación están presentes en la Ecuación de Transmisión de Friss en la cual resulta importante para el análisis de cualquier tipo enlace el cálculo de la potencia en el receptor, expresado de la siguiente forma:

$$P_r = P_t G_t G_r \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (2.6)$$

Aquí se agregan a la expresión las ganancias del transmisor y receptor.

### **2.5.3.2 Enlace a través de un medio cualquiera**

El cálculo de las pérdidas básica de propagación en cualquier medio se efectúa en función de las características del medio en que se propaguen las ondas. Para un medio en condiciones reales se suman las pérdidas adicionales ( $l_a$ ) a las ya existente y en estas

pérdidas adicionales se incluyen las pérdidas adicionales por propagación, pérdidas en las secciones de líneas de transmisión y desalineación entre las antenas. Matemáticamente la ecuación de transmisión queda como se muestra a continuación:

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r}{l_a l_b} \quad (2.7)$$

Expresada en unidades logarítmicas:

$$P_r = P_t(dBW) + G_t(dB) + G_r(dB) - L_b(dB) - L_a(dB) \quad (2.8)$$

### 2.5.4 Sensibilidad del receptor

Constituye un aspecto importante en el receptor, ya que éste tiene un umbral (*threshold*) mínimo de energía recibida (en el conector de la tarjeta) para el cual la señal tiene que alcanzar una cierta tasa de transmisión (*bit rate*). Si la energía de la señal es menor que la máxima tasa de transmisión, entonces, se decrementará el rendimiento, por lo que es mejor el empleo de equipos con un valor de umbral bajo.

Tabla 2.3. Ejemplo de valores de sensibilidad de recepción de algunas tarjetas.

<b>Orinoco Silver/Gold</b>		<b>PCMCIA</b>		<b>CISCO Aironet 350</b>		<b>Proxim Symphony ISA</b>	
Razón de Tx	Sensibilidad	Razón de Tx	Sensibilidad	Razón de Tx	Sensibilidad	Razón de Tx	Sensibilidad
11 Mbps	-82 dBm	11 Mbps	-85 dBm	1.6 Mbps	-77 dBm		
5.5 Mbps	-87 dBm	5.5 Mbps	-89 dBm	0.8 Mbps	-85 dBm		
2 Mbps	-91 dBm	2 Mbps	-91 dBm				
1 Mbps	-94 dBm	1 Mbps	-94 dBm				

*Fuente: MicroAlcarria*

### 2.5.5 Relación señal a ruido

La relación señal a ruido es la mínima diferencia de potencia que se debe alcanzar entre la señal recibida y el ruido (ruido térmico, ruido industrial debido a los microondas y ruido debido a otra WLAN en la misma banda de frecuencias). Es la que define la calidad de la señal recibida. Se define como el cociente entre la potencia de señal y la potencia de ruido ambas en watt. La expresión matemática es la siguiente:

$$C/N = \frac{P_r}{KTB} \quad (2.9)$$

Donde  $K$  es la constante de Boltzman,  $T$  la temperatura y  $B$  el ancho de Banda. En cuanto a la temperatura esta se ve afectada por el ruido externo captado por la antena ( $T_A$ ) y por el ruido interno que provoca el receptor ( $T_R$ ). Sustituyendo en la ecuación anterior al término  $P_r$  por su expresión correspondiente en la Fórmula de Friss queda entonces en términos de las ganancias de las antenas y de las pérdidas.

$$C/N = \frac{P_t G_t G_r}{K L_a L_b T B} \quad (2.10)$$

Como la Potencia Isotrópica Radiada a la Entrada (PIRE) se define por la expresión:

$$PIRE = P_t G_t \quad (2.11)$$

Y la figura de mérito se expresa en dB/K y se define como:

$$G/T = \frac{G_r}{T_A + T_R} \quad (2.12)$$

y se puede apreciar donde queda definida en un enlace de radio (Fig. 2.5).

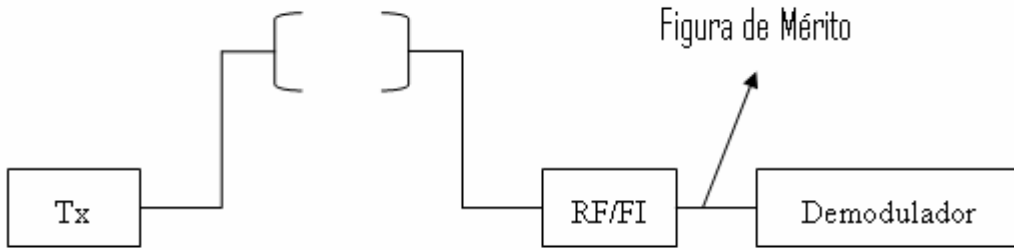


Figura 2.5. Definición de la figura de mérito en un radioenlace.

El resultado de la expresión de la relación portadora a ruido, se obtiene de la sustitución de las expresiones (2.11) y (2.12) en la (2.10), resultando:

$$C/N = \frac{PIRE(G/T)}{K L_a L_b B} \quad (2.13)$$

Para poder trabajar en determinada tasa de transferencia de datos, el sistema necesita una relación C/N mínima. Si el nivel de ruido es muy bajo el sistema estará limitado en mayor medida por la sensibilidad del receptor que por la relación C/N. Si el nivel de ruido es mayor, entonces, será la relación C/N la que limitará el poder alcanzar una tasa de

transferencia determinada. En condiciones normales, sin otra WLAN en la misma frecuencia y sin ruido industrial, el ruido estará cerca de los -100dBm. La sensibilidad mínima del receptor es el factor que limita el sistema.

Tabla 2.4. Valores de relación señal a ruido para Orinoco PCMCIA Silver/Gold.

<b>Razón de Tx</b>	<b>Relación portadora ruido</b>
1 Mbps	4 dB
2 Mbps	7 dB
5.5 Mbps	11 dB
11 Mbps	16 dB

*Fuente: Paramowifix*

### 2.5.6 Margen

El término de margen ( $M$ ) se introduce para compensar el desvanecimiento y se define por el cociente entre la relación portadora a ruido de operación  $C/N$  y  $(C/N)_0$ , este último es el valor requerido del diseño para cumplir con una determinada calidad de servicio ( $QoS$ ).

Quedando la expresión de la siguiente forma:

$$M = \frac{C/N}{(C/N)_0} \geq 1 \quad (2.14)$$

Sustituyendo para expresarlo en función de la figura de mérito:

$$M = \frac{PIRE (G/T)}{Kl_a l_b (C/N)_0} \quad (2.15)$$

Un buen radioenlace debe tener de 5 a 17 dB de margen.

### 2.5.7 Distorsión del retardo (*Delay Spread*)

Producto de cancelaciones de energía en ciertas frecuencias, cuando se producen reflexiones, al receptor arriban al mismo tiempo las ondas directas y reflejadas, a esto se suma una diferencia de tiempo entre los diferentes componentes recibidos que hacen que la señal recibida se difunda en el dominio de tiempo. La consecuencia en el sistema es dañina y lleva a errores de transmisión. Para contrarrestar estos efectos se utilizan ecualizadores. Pero esto no tiene una capacidad limitada, y por consiguiente los productores de equipos

inalámbricos dan un límite de distorsión de retardo, para alcanzar un nivel mínimos de error en una cierta proporción de datos.

## **2.6 Conclusiones del Capítulo**

En este capítulo se han tratado aspectos relacionados a la radiopropagación (la zona de Fresnel, LOS, los mecanismos de propagación, etc.), y las características de un radioenlace, tales como: las pérdidas básicas de propagación, la potencia transmitida, la sensibilidad en el receptor, entre otras, que son importantes para realizar el diseño de un enlace inalámbrico.

# *Capítulo 3*

## CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL ENLACE

El diseño de una Red Inalámbrica depende significativamente del objetivo del proyecto. En algunos casos se busca movilidad de los usuarios, o disminuir los costos. Independientemente de cual sea la motivación, siempre hay que lograr una buena productividad de los usuarios y que la calidad de servicio sea superior a las redes cableadas, si tenemos en cuenta que estas usan como medio compartido el aire para transmitir ondas de RF, y que existen obstáculos e interferencias que afectan la calidad del enlace, de ahí que es de vital importancia para desplegar una red inalámbrica hacer primeramente un estudio del entorno y el terreno, algo que debe hacerse periódicamente pues las condiciones cambian con el tiempo. La finalidad de este estudio es determinar el lugar óptimo de emplazamiento de los AP, detectar los obstáculos, que influirán en la calidad de la red. Estos deberán ser tenidos en cuenta al diseñar esa red específica y asegurar una cobertura adecuada a todos los usuarios. Además se debe tener en cuenta la potencia de la señal, las antenas que se utilizan y sus características y las pérdidas que se producen debido a la propagación.

### 3.1 Situación de la red de la UCLV

El diseño y proyección de la red de la UCLV data de 1998 y su instalación concluyó en mayo del 2000. Todos los tramos que unen la puerta y los edificios son de fibra óptica multimodo de tipo 62.5/125. En el año 2002 se realiza la segunda expansión de la Red UCLV, debido al éxito alcanzado en el trabajo de la misma por el creciente uso de los recursos compartidos y la incursión de facilidades como correo electrónico e Internet.

Con la expansión, los usuarios de otros lugares de la Universidad como las Facultades de Ciencias Agropecuarias y de Construcciones lograron el acceso a la Intranet universitaria. Además se conectaron otras zonas como el SEDER y el Centro de Bioactivos Químicos (CBQ) (Fig. 3.1). La red mantiene el uso de fibra óptica multimodo 62.5/125 en los nuevos enlaces.

La universidad Central de la Villas cuenta hoy con una gran red de computadoras, con 14 enlaces principales y un total de 7 Km. de fibra óptica. Se brindan los servicios principales de correo electrónico internacional y acceso a Internet para todos los profesores y

estudiantes y tiene una Intranet bien consolidada donde están representadas todas las áreas universitarias. Los usuarios, además acceden a otras aplicaciones y servicios que son vitales para el trabajo docente e investigativo que en la misma se realizan.

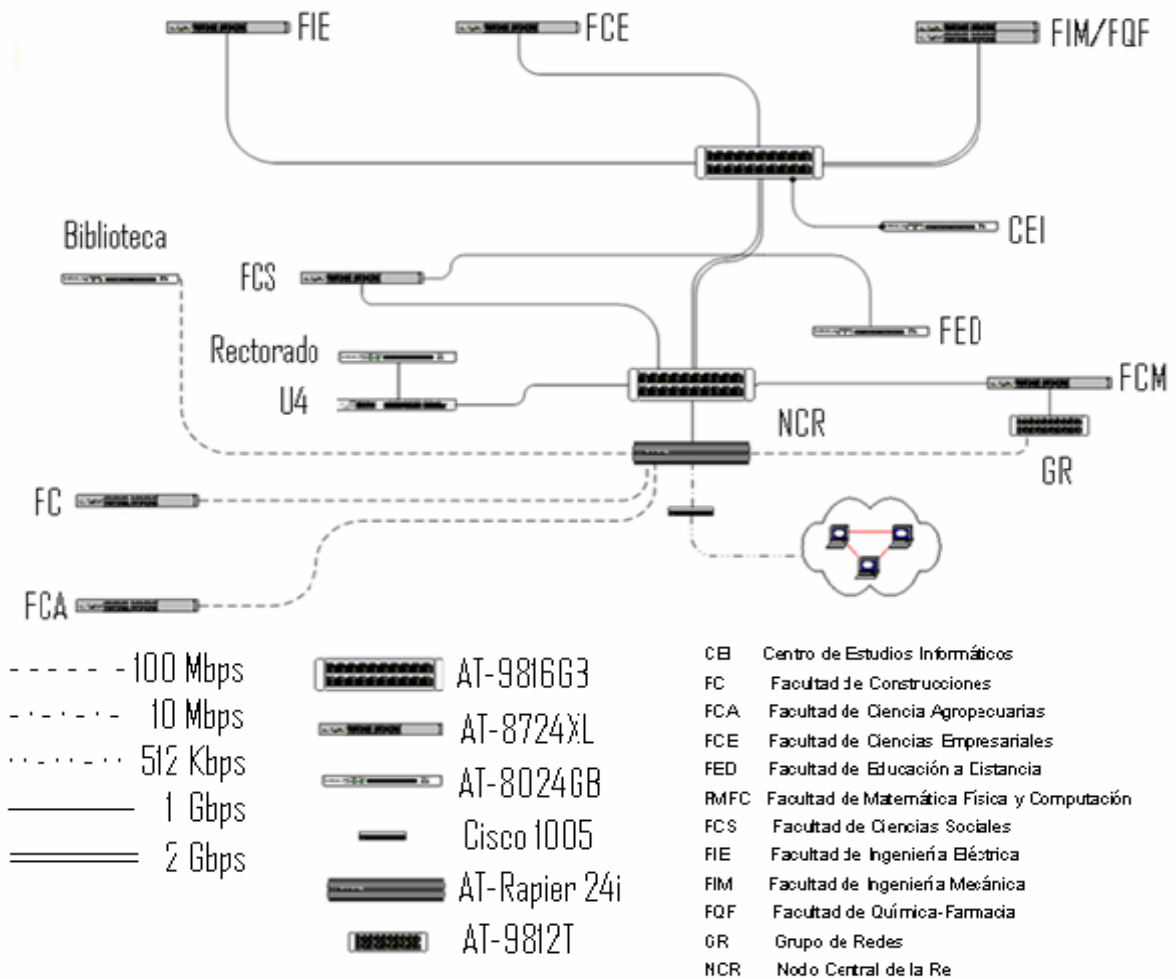


Figura 3.1. Distribución actual del Backbone de la UCLV.

### 3.1.1 Deficiencias en la red

Desde que la Red UCLV fue diseñada quedaron algunos puntos débiles en su estructura, principalmente por limitaciones económicas. Con el paso del tiempo y la aparición de nuevos estándares y de nuevas necesidades estas antiguas debilidades se han convertido en problemas reales que impiden el óptimo aprovechamiento de los recursos existentes. A los problemas se suma la falta de interconexión del Centro de Investigación que se encuentra en el Jardín Botánico con el resto de la universidad.

### **Centro de Investigación del Jardín Botánico**

El Jardín Botánico es el único de su tipo en la provincia de Villa Clara, dentro del mismo se encuentra un Centro de Investigación de gran importancia adjunto a la UCLV. La remodelación de este lugar está amparada por el proyecto VLIR en conjunto con el gobierno de Villa Clara. Con este Centro de Investigación se pretende alcanzar el desarrollo de la naturaleza de diferentes especies oriundas de varias latitudes del planeta y un lugar de esparcimiento natural.

El Centro de Investigación presenta una pequeña red interna, de no más de siete computadoras. Como no se encuentra unida a la red universitaria, no tiene acceso a todos los servicios que esta proporciona, ni a los servicios nacionales, ni internacionales. El servicio de correo electrónico se realiza mediante una conexión vía módem, que en estos momentos presenta problemas.

Para conectar este centro a la red de la Universidad la primera alternativa es implementar una infraestructura cableada. El lugar más cercano con el cual se puede enlazar esta subred es la Facultad de Ingeniería Eléctrica (FIE), se debe realizar un enlace entre ellos mediante fibra óptica. Para la realización del mismo es necesario analizar las condiciones del terreno entre ambos lugares.

#### **3.1.2 Análisis del entorno para enlazar la red con infraestructura cableada**

El Centro de Investigación es una edificación pequeña de apenas un piso de entre dos y tres metros de altura, se encuentra en una zona baja y rodeado de árboles que lo rebasan. Por su parte la Facultad de Ingeniería Eléctrica es un edificio alto, de cuatro pisos, cada uno de ellos de aproximadamente un poco más de tres metros, que se encuentra en una zona alta de la Universidad, en uno de sus lados la vegetación que existe no rebasa su altura. En línea recta con el Jardín Botánico se observa que el terreno es bastante irregular, aunque no existen grandes elevaciones, presenta altas y bajas, además de varios puntos de mediana vegetación, el terreno en ocasiones se ha utilizado como zona de cultivos. La distancia entre ambos puntos es de 518 metros. Por otro lado, la carretera que sirve de tránsito para el desplazamiento desde la FIE hacia el Jardín Botánico no es uniforme y en sus alrededores presenta zanjas de mediana profundidad. Agregando que los dos centros no se encuentran

del mismo lado de esta carretera. Otro aspecto importante es que el lugar donde radica el Centro de Investigación está rodeado de abundante vegetación, con árboles de gran tamaño. Por las características que presenta el trayecto de la FIE al Jardín Botánico la implementación de una red LAN de infraestructura cableada no es una solución viable, por lo surge la necesidad de buscar otras alternativas.

### **3.1.2.1 Otras alternativas**

Por el avance que presentan las redes inalámbricas de área local y las ventajas que ofrecen frente a una red con cables, la dirección de la UCLV ha decidido adoptar las WLAN para dar solución al problema de la conexión de estos lugares y de esta manera lograr el completamiento de la red universitaria y que este Centro de Investigación tenga acceso a todos los servicios que brinda. Este reto que asume la UCLV se desarrolla en conjunto con el Proyecto VLIR (*Vlaamse Interuniversitaire Raad*) de las Universidades Flamencas de Bélgica que se encargan del financiamiento.

#### ***Proyecto VLIR (VLAAMSE INTERUNIVERSITAIRE RAAD)***

En el año 2003 la UCLV fue aceptada como participante en un proyecto conjunto con el consejo de universidades flamencas. Este proyecto se divide en ocho sub-proyectos de los cuales el primero está orientado a mejorar la infraestructura y a facilitar el proceso de informatización de la UCLV.

## **3.2 Oferta del equipamiento**

Una vez planteada la solución es necesario seleccionar el equipamiento adecuado, valorando para esto aspectos de costo, interoperabilidad con otras tecnologías que se encuentren funcionando en el lugar aplicable al entorno. Para la adecuada selección se realiza un análisis detallado de las ofertas del mercado mundial y nacional.

### **3.2.1 Mercado Mundial**

En el mercado mundial innumerables son las ofertas que se brindan de puntos de acceso y puntos de acceso con la función de puentes, para exteriores e interiores, tarjetas inalámbricas y antenas que pueden estar integradas o no al punto de acceso (Ver Anexos I, II, III, IV, V, VI). Son varias las empresas, firmas, consorcios, etc. que se dedican a la producción y comercialización de los implementos para redes inalámbricas. Entre estas

empresas están: Alvarion, Tsunami, SparkLan, SmartBridge, Lucent, Linksys, Nokia, 3Com, FreeCon, Cisco, entre otros.

Tabla 3.1. Características de algunos productos inalámbricos para exterior.

Wave Access	Quick Bridge	Breeze Access														
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Razón de Datos 3.2 Mbps y 1.6 Mbps</li> <li>• Máxima Potencia de Salida 17 dBm</li> <li>• Sensibilidad en el receptor 86dbm QPSK 16QAM 74dbm</li> <li>• Rangos de Operación Antena                             <table style="margin-left: 20px; border: none;"> <tr> <td>3.2Mbps</td> <td>6Mbps</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>10Km 30Km</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>6Km 24Km</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>3Km 12Km</td> </tr> </table> </li> <li>• Tecnología FHSS con modulación 16QAM y QPSK</li> <li>• Banda de Frecuencia de 2.4 GHz</li> </ul>	3.2Mbps	6Mbps	20	10Km 30Km	16	6Km 24Km	10	3Km 12Km	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Razón de datos 18 Mbps y 12 Mbps</li> <li>• Potencia de Salida 16 dBm máximo 15 dBm típico</li> <li>• Antena Integrada 20dBi</li> <li>• Máxima Sensibilidad en el receptor: -20 dBm libre de error.</li> <li>• Modo de Operación: Multiplexación por División en el Tiempo</li> <li>• Técnica de Modulación QPSK</li> <li>• Banda de Frecuencia de 5 GHz</li> <li>• Distancia Máxima 10 Km con línea de vista.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Razón de Datos 3 Mbps</li> <li>• Potencia de salida 26 dBm 2 dBm.</li> <li>• Antena 15dB</li> <li>• Sensibilidad                             <table style="margin-left: 20px; border: none;"> <tr> <td>1 Mbps</td> <td>-87 dBm</td> </tr> <tr> <td>2 Mbps</td> <td>-81 dBm</td> </tr> <tr> <td>3 Mbps</td> <td>-73 dBm</td> </tr> </table> </li> <li>• Modo de Operación: Multiplexación por División en el Tiempo</li> <li>• Técnica de Acceso FHSS CSMA/CA</li> <li>• Modulación Multi nivel GFSK</li> <li>• Banda de Frecuencia 2.4GHz</li> </ul>	1 Mbps	-87 dBm	2 Mbps	-81 dBm	3 Mbps	-73 dBm
3.2Mbps	6Mbps															
20	10Km 30Km															
16	6Km 24Km															
10	3Km 12Km															
1 Mbps	-87 dBm															
2 Mbps	-81 dBm															
3 Mbps	-73 dBm															

*Fuente: Lucent Technologies, Proxim y Alvarion*

### **3.2.2 Oferta en Cuba**

En Cuba la corporación Copextel tiene el objetivo de comercializar equipamiento electrónico de alta tecnología. La empresa tiene como filosofía de trabajo la integración de todas sus tecnologías en forma de un único paquete que comercializa “llave en mano”. Esta modalidad cubre todas las etapas, desde el proyecto inicial, instalación y puesta en marcha, hasta los servicios de post venta. En estos momentos la empresa oferta equipos K-BEST en materia de redes inalámbricas para diferentes aplicaciones en dependencia de las necesidades (Ver Anexo VII y VIII).

### **3.2.3 Selección del equipamiento**

Después de hacer un estudio de mercado de las diferentes ofertas, en conjunto con la empresa comercializadora Copextel, se decidió usar equipos K-BEST, en específico, la

serie BL 3 201 procedente de Hungría, pues son los que presentan un comportamiento más estable y seguro de los que se importan en estos momentos. Además son los proveedores que mejor garantía proporcionan en cuanto a la entrada de este tipo de equipamiento al país, pues por la situación existente en Cuba con el bloqueo americano está limitada la entrada en el país de cualquier tipo de tecnología. Este equipo tiene un alcance de hasta cuatro kilómetros en líneas de vista libres, con una antena integrada, sin embargo, con una antena externa llega hasta sesenta kilómetros; aunque con algún obstáculo disminuye nivel de alcance. Como la distancia entre el Jardín Botánico y la FIE es menor que la distancia máxima permisible por el equipo, surge la interrogante de si el enlace está sobre diseñado. Desde el punto de vista práctico no existen otras alternativas en cuanto a la selección, por la poca accesibilidad que tienen las empresas cubanas al mercado mundial, pero tiene la ventaja que este equipo puede ser aprovechado en posteriores proyectos en la Universidad. El equipamiento está comprado con todos los accesorios necesarios para ejecutar el enlace.

### **3.3 Características del K-BEST**

K-BEST es un producto diseñado para sistemas de RF profesionales y aplicaciones de telecomunicaciones inalámbricas. Entre los productos K-BEST se encuentran puentes inalámbricos de microondas (*Microwave Wireless Bridge*), transmisores, receptores, entre otros (Ver Anexo IX). Estos dispositivos cubren el rango de frecuencia de 10 MHz a 50GHz. La tecnología K-Best se utiliza en telecomunicaciones inalámbricas, transmisiones satelitales, como estaciones base móviles, como conexiones de radio punto a punto, como sistemas punto a multipunto, en técnicas de transmisión de audio y video, y en cobertura militar. La mayoría de los productos comunes son soluciones WLAN para exterior (IEEE 802.11a / IEEE 802.11b / IEEE 802.11g) y amplificadores WLAN para exterior (2.4 GHz, 5.8 GHz), entre otros.

#### **3.3.1 Series BL 3 000-3 010, BL3 200**

Son series para sistemas de WLAN para exteriores que ofrecen una excelente comunicación de banda ancha. Este sistema se usa para soluciones de RF punto a punto y punto a multipunto, que conectan múltiples LAN entre diferentes edificios. Soportan razones de datos por encima de 11Mbps utilizando la tecnología DSSS. Los equipos de esta serie están diseñados para altas razones de datos y puentes para exteriores de largas

distancias, que trabajan en la banda de 2.4 a 2.5 GHz utilizando las tecnologías de radio OFDM y DSSS.

### **3.3.2 Datos del K-BEST BL-3201 802.11 b/g Outdoor radio**

Este es un equipo para enlaces punto a multipunto. Es compatible con el estándar IEEE 802.11b trabaja de forma mixta (802.11b/g). Tecnología bi-direccional. La velocidad se ajusta automáticamente y tiene una señal fuerte de LED que indican ayuda para alinear la antena

**Canales de operación:** FCC (1~11 canales), para Estados Unidos, ETSI (1~13 canales), para Europa y Japón (14 canales).

**Potencia de salida:** 38dBm / 45dBm

**Sensibilidad del receptor:**

Tabla 3.2. Valores de Sensibilidad del receptor para el K-BEST BL 3201.

<b>Sensibilidad (dBm)</b>	<b>Tasa de Transmisión (Mbps)</b>
-65	54
-66	48
-70	36
-74	24
-77	18
-79	12
-81	9
-82	6

**Administración:** Herramientas de manejo basado en Windows, en Web y en Telnet.

**Modo de Operación:** Puede ser configurado en tres modos de trabajo: Estación, Punto de Acceso (AP) y Punto de Acceso con repetidor (WDS) se refiere a las redes malladas antes mencionadas en el capítulo 1.

**Protocolos:** TCP/IP, IPX/SPX, NetBEUI

**Seguridad:** Tiene un manejo poderoso de seguridad, basado en: encriptación WEP 64/128 bits, WEP ASCII/Hexadecimal, WPA WPA-PSK y filtrado de direcciones MAC

**Ambiente:** Temperatura de Operación: -10°C~60°C

Temperatura de almacenamiento: -30°C~80°C

Humedad: 5%~95% sin condensación

**Fuente de alimentación:** AC 100-264V, DC 15V, 50-60Hz

**Datos Físicos:** Las Dimensiones son 50 (w) × 350 (d) × 95 (h); mm y un peso de 4.3 Kg.

**Especificaciones para las antenas integradas de panel:**

- Ganancia: 18dBi
- Ancho del Haz: H17 E11
- VSWR (Razón de onda estacionaria) ≤1.4
- Razón *Front to Back* (FTBR) >30
- Impedancia: 50Ω
- Garantía: Limitado por un año.

### 3.4 Diseño del enlace inalámbrico

Para realizar un diseño correcto de una red WLAN, es necesario analizar una gran variedad de parámetros y pasos a tener en cuenta.

Para conectar las redes LAN de la FIE y el Centro de Investigación del Jardín Botánico de manera inalámbrica, se realiza un enlace punto a punto. Estos enlaces se utilizan para conectar dos puntos que se encuentran en lugares diferentes. Se necesita una visión libre de obstáculos de la trayectoria entre los puntos. Se coloca un equipo en el Centro de Investigación y el otro en la FIE.

El primer paso para el diseño es demostrar si se cumplen las condiciones de tierra plana.

#### Demostración de tierra plana

$$d_0[km] = \frac{80}{\sqrt[3]{f(MHz)}} \quad (3.1)$$

Si la distancia que existe entre los puntos a enlazar es menor que  $d_0$ , entonces, se cumple la condición de tierra plana. Tomando el valor de frecuencia correspondiente al último canal de Estados Unidos (canal 11  $f = 2462MHz$ ) (Ver Anexo X), sustituyendo en la expresión el resultado es el siguiente:

$$d_0[km] = \frac{80}{\sqrt[3]{2462}} = 5.9426km$$

Como la distancia entre la FIE y el Centro de Investigación es menor que el resultado anterior, entonces se cumple la condición.

**Distancia entre los puntos.**

Para saber si la distancia entre los dispositivos es menor que la distancia de alcance máxima del equipo, se tienen en cuenta una serie de parámetros que intervienen en la expresión que se muestra a continuación:

$$20\log(D) = P_{T_x} - P_{req} + G_{R_x} + G_{T_x} - 32.45 - 20\log(f) \quad (3.2)$$

Esta expresión es el resultado del despeje de la expresión (2.5). Esta ecuación no incluye el valor del margen.

La  $f$  se refiere a la frecuencia, una vez seleccionada la banda de frecuencia donde trabaja el equipo inalámbrico, es necesario, seleccionar un canal con su respectivo valor de frecuencia, estos valores dependen del país donde se implante la red inalámbrica (Ver Anexo X), en esta expresión la frecuencia está en MHz. Los términos  $G$  se refieren a las ganancias de las antenas transmisora y receptora, y los términos de  $P$  se refieren a las potencias de la antena transmisora y la potencia requerida en el receptor. Como la antena viene integrada en el equipo las pérdidas en los cables son despreciable, entonces la potencia que sale del equipo es la de la antena. Otros elementos importantes en la determinación de la distancia son la relación señal a ruido, la sensibilidad del receptor, la figura de mérito, el margen y la atenuación en los cables. Esta expresión arroja como resultado la distancia máxima a la que pueden estar las antenas en dependencia de los términos. La distancia que se obtiene está en kilómetros.

Los cálculos se realizan para casos límites de frecuencia, potencia del transmisor y sensibilidad del receptor, usando la expresión (3.2) y utilizando:  
 $X(dBW) = Y(dBm) - 30dBW$  para convertir de dBm a dBW.

Para la frecuencia del canal 11  $20\log(f(MHz)) = 20\log(2462) = 67.83dBHz$

➤ Potencia del transmisor de 38 dBm (8 dBW)

Sensibilidad del receptor de -65 dBm (-95 dBW) y una razón de transmisión de 54 Mbps.

$$20 \log(D) = 8dBW - (-95dBW) + 18dbi + 18dBi - 32.45 - 67.83dBHz$$

$$20 \log(D) = 38.72dB - Marg en(17dB)$$

$$D = 12.19 \text{ Km.}$$

Sensibilidad del receptor de -82 dBm (-112 dBW) y una razón de transmisión de 6 Mbps.

$$20 \log(D) = 8dBW - (-112dBW) + 18dBi + 18dBi - 32.45 - 67.83dBHz$$

$$20 \log(D) = 55.72dB - 17dB$$

$$D = 86.9 \text{ Km.}$$

➤ Potencia del transmisor de 45 dBm (15 dBW)

Sensibilidad del receptor de -65 dBm (-95 dBW) y una razón de transmisión de 54 Mbps.

$$20 \log(D) = 15dBW - (-95dBW) + 18dBi + 18dBi - 32.45 - 67.83dBHz$$

$$20 \log(D) = 45.72dB - 17dB$$

$$D = 27.3 \text{ Km.}$$

Para la frecuencia del canal 1  $20 \log(f(MHz)) = 20 \log(2412) = 67.65dBHz$

➤ Potencia del transmisor de 38 dBm (8 dBW)

Sensibilidad del receptor de -65 dBm (-95 dBm) y una razón de transmisión de 54 Mbps.

$$20 \log(D) = 8dBW - (-95dBW) + 18dbi + 18dBi - 32.45 - 67.65dBHz$$

$$20 \log(D) = 38.9dB - 17dB$$

$$D = 12.44 \text{ Km.}$$

Sensibilidad del receptor de -82 dBm (-112 dBW) y una razón de transmisión de 6 Mbps.

$$20 \log(D) = 8dBW - (-112dBW) + 18dBi + 18dBi - 32.45 - 67.65dBHz$$

$$20 \log(D) = 55.72dB - 17dB$$

$$D = 86.3 \text{ Km.}$$

➤ Potencia del transmisor de 45 dBm (15 dBW)

Sensibilidad del receptor de -65 dBm (-95dBW) y una razón de transmisión de 54 Mbps.

$$20 \log(D) = 15 \text{dBW} - (-95 \text{dBW}) + 18 \text{dBi} + 18 \text{dBi} - 32.45 - 67.65 \text{dBHz}$$

$$20 \log(D) = 45.9 \text{dB} - 17 \text{dB}$$

$$D = 27.86 \text{ Km.}$$

Los cálculos pueden ser comprobados mediante una hoja de cálculo (Ver Anexo XI).

Tabla 3.3 Resultados del cálculo de las distancias

Frecuencia	Potencia del Tx	Sensibilidad	Distancia
2412 MHz	38 dBm (8 dBW)	-65 dBm (-95 dBW)	12.19 km.
		-82 dBm (-112 dBW)	86.9 km.
	45 dBm (15 dBW)	65 dBm (-95 dBW)	27.3 km.
2462 MHz	38 dBm (8 dBW)	65 dBm (-95 dBW)	12.44 km.
		-82 dBm (-112 dBW)	86.3 km.
	45 dBm (15 dBW)	65 dBm (-95 dBW)	27.86 km.

Como conclusión la distancia entre los puntos a enlazar está dentro del rango de la distancia de alcance máximo, no existen problemas para que la señal llegue al receptor por falta de cobertura.

### Altura de los Equipos

Para determinar la altura a la que deben ser colocados los radios en los puntos a enlazar, hay que garantizar que haya LOS, y que la altura del obstáculo más crítico entre ambos no interfiera dentro el 60% de la primera zona de Fresnel. Se instalará una torre atirantada en el Centro de Investigación por estar ubicado en una zona más baja que la FIE, además porque cuenta con un solo piso. En el tope de esta torre se colocará el radio para exterior (re refiere a Outdoor radio para identificar al equipo o punto de acceso para exterior), mientras en el edificio de la FIE por tener mayor altura (con cuatro pisos) no se utilizará torre atirantada, el equipo se soportará en el extremo izquierdo del edificio.

### Determinación de la primera zona de Fresnel

El resultado de la primera zona de Fresnel se obtiene aplicando la expresión (2.1), en esta expresión interviene la distancia del obstáculo crítico al transmisor y al receptor. El área donde mayor número de obstáculos críticos existen, que pueden afectar la primera zona de

Fresnel es la que rodea el Centro de Investigación, entre los que sobresalen dos Pinos y un árbol de gran tamaño, aunque ninguno sobrepasa los 17 metros de altura y se encuentran a una distancia de 15 metros del equipo del Centro, también existe un grupo de árboles del lado derecho de la vía que conduce al Jardín Botánico, pero estos son de menor tamaño y vistos desde el piso superior del edificio de la FIE no son capaces de obstruir.

Para la frecuencia de 2 462 MHz (Canal 11),  $\lambda = \frac{300}{2462} = 0.122$  metros.

$$R = \sqrt{\frac{0.122 * 15 * 503}{518}} = 1.33 \text{ metros}$$

De éste radio el 60% de despeje es 0.798 metros.

Para la frecuencia de 2 412 MHz (Canal 1),  $\lambda = \frac{300}{2412} = 0.124$  metros

$$R = \sqrt{\frac{0.124 * 15 * 503}{518}} = 1.34 \text{ metros}$$

De éste radio el 60% de despeje es 0.804 metros.

La primera zona de Fresnel debe estar por encima del obstáculo crítico, que en este caso mide alrededor de 17 metros. Como conclusión se propone ubicar una torre a 19 metros del suelo en el Centro de Investigación, en la cual estará el radio de exterior y en la FIE se ubicará el otro sin la utilización de una torre en la azotea a una altura de 17 metros.

Con ayuda del MatLab y realizando un estudio del terreno se pudo obtener una estimación del radio de la primera zona de Fresnel (Fig. 3.2).

En el Anexo XII se puede observar la zona de Fresnel hallada por un software Profesional llamado Cobra, utilizado por Copextel Nacional para el diseño de redes inalámbricas.

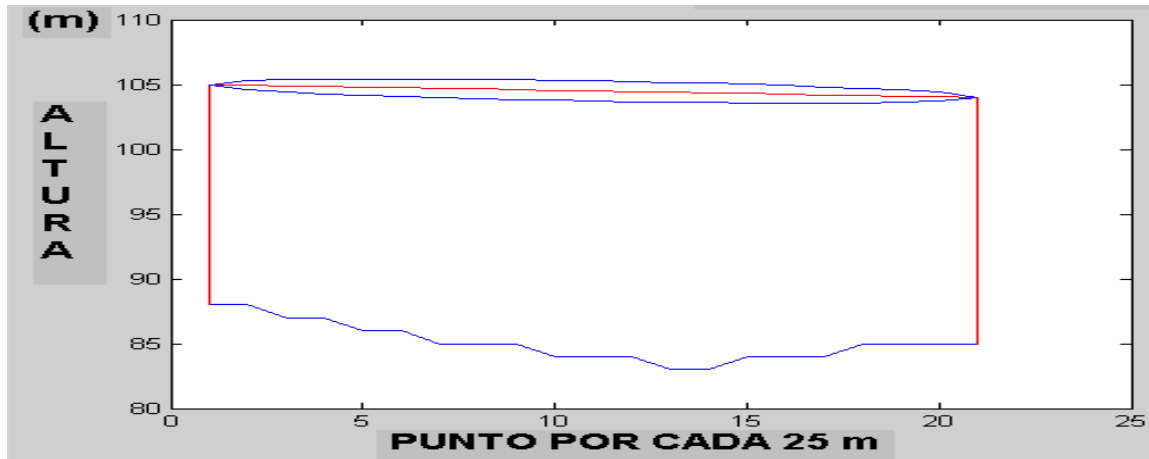


Figura 3.2 Análisis del radio de la zona de Fresnel utilizando MatLab.

### 3.5 Aterramiento

La única amenaza natural del equipamiento inalámbrico son los rayos eléctricos. Un rayo puede dañar el equipo, con un impacto directo o uno inducido. Los primeros ocurren cuando el rayo realmente alcanza la torre o la antena y el segundo se produce cuando el rayo cae cerca de la torre. Muchos de los métodos utilizados ayudan a prevenir los impactos (Flickenger et al, 2006).

Las redes inalámbricas necesitan de un sistema de aterramiento físico que cumpla con rigor las especificaciones técnicas normadas. El área que ocupa el Jardín Botánico está alejada del centro universitario y su suelo es de alta resistencia del orden de los 125 ohm por lo que fue necesario implementar un sistema de aterramiento con 4 electrodos de grafito enterrados a 3 metros de profundidad y enlazados entre sí, para llevar la resistencia hasta 5 ohm aproximadamente como establecen las normas internacionales que rigen estos sistemas. Este sistema sirve de aterramiento físico para la torre con todo el sistema inalámbrico montado sobre ella y además para la red LAN interna del Centro, que se conectará a la barra de tierra que se montará en un lugar asequible del mismo. El paquete del equipo trae un cable llamado protector polifásico que es para aterrizar el equipo montado encima de la torre. Estas torres constituyen un pararrayo físico seguro, donde las descargas eléctricas tienen un blanco perfecto para destruir todo el sistema montado, de ahí la necesidad de garantizar el montaje de este sistema con todo el rigor necesario antes de implementar el enlace. Este sistema está en fase de montaje y financiado por el Proyecto

Belga que tiene este centro. Del otro lado el equipo de conecta al sistema de tierra física de la FIE montado desde hace ya algunos años.

### **3.6 Análisis económico**

Para realizar un análisis económico es necesario analizar el precio de cada uno de los materiales que se utilizan y el costo de mano de obra donde está incluida la instalación para la posterior puesta en marcha. En las tablas 3.4 y 3.5 se muestran los precios de los materiales y de la instalación y puesta en marcha respectivamente. Estos equipos todavía son caros por la novedad de la tecnología, a medida que pase el tiempo se irán abaratando.

Tabla 3.4. Componentes y precios para el enlace.

<b>Descripción</b>	<b>Precio CUC</b>	<b>Precio MN</b>	<b>Cant.</b>	<b>Total CUC</b>	<b>Total MN</b>
KBEST BL3201	\$1416.45	\$424.94	2	\$2832.90	\$849.87
Protector Polyphaser IW-2H2DC48/W	\$125.00	\$37.50	2	\$250.00	\$75.00
Cable de tierra Verde/Amarillo	\$109.60	\$32.88	1	\$109.60	\$32.88
CBL-50 In unit-out unit Bandabase cable (Ext)	\$67.30	\$24.00	2	\$234.60	\$48.00
Kit de inst. de equipamiento	\$40.00	\$12.00	2	\$80.00	\$24.00
Torre atirantada AT-20 16 mts c/ luz y pararrayos	\$1792.93	\$537.88	1	\$1792.93	\$537.88
Subtotal				\$5300.03	\$1576.63

Tabla 3.5. Costos de Instalación u puesta en marcha

<b>Descripción</b>	<b>Precio CUC</b>	<b>Precio MN</b>	<b>Cant.</b>	<b>Total CUC</b>	<b>Total MN</b>
Inst. de Torre (por día)	\$36.92	\$800.00	2	\$73.84	\$1600.00
Inst. de equipamiento (por día)	\$36.92	\$150.00	2	\$73.84	\$300.00
Programación y puesta a punto (por día)	\$36.92	\$71.40	2	\$73.84	\$142.80
Subtotal				\$221.52	\$2042.80

**Total**

Total CUC:  $\$5300.03 + \$221.25 = \$5,521.55$

Total MN:  $\$1576.63 + \$2042.80 = \$3,610.43$

**3.7 Ejemplos de implementación de enlace inalámbrico con tecnología K-BEST en la ECIE de Villa Clara.**

En la provincia de Villa Clara la Empresa de Construcción y Mantenimiento de la Industria Eléctrica, ubicada en la circunvalación norte, de la ciudad de Santa Clara asumió la tecnología inalámbrica para conectar oficinas y edificios dentro de su entorno y en otros puntos dentro de la ciudad. Esta empresa adquirió equipos de la marca K-BEST y Zyxel, utilizando los primeros principalmente en conexiones de larga distancia, específicamente desde del edificio central hasta el despacho de carga, ubicado a unos 3 o 4 km. Mientras los Zyxel unen otras dependencias dentro de la empresa con el edificio central a distancias menores de 500 metros. Asumir la tarea para ellos no fue fácil, pero los enlaces que allí se montaron se comportan de una forma estable y permitieron integrar a la red, oficinas y edificios de la empresa que antes no estaban conectados. Esta empresa sirve de ejemplo, y demuestra la fiabilidad y estabilidad de los equipos K-BEST en enlaces inalámbricos.

**3.8 Soluciones alternativas de respaldo ante situaciones que comprometen la continuidad de los servicios de la red.**

La UCLV pretende emplear la tecnología inalámbrica en todo su campus universitario como método de respaldo ante cualquier situación de contingencia. Aunque existan conexiones cableadas existirán enlaces inalámbricos para cuando los cableados fallen. Estos nuevos enlaces se acometerán como parte de un proyecto futuro en los próximos cinco años, que a parte de las funcionalidades que brinda, surgirán nuevas aplicaciones con el objetivo de crear una zona Wi-Fi, donde los usuarios puedan acceder a la red con la utilización de una tarjeta inalámbrica, válido para salones de reuniones, áreas de descanso, salones de estudio y otros.

### **3.9 Conclusiones del Capítulo**

El detallado estudio de las condiciones del terreno donde se deseó establecer el enlace, Jardín Botánico-FIE, la situación existente en las subredes de ambos sitios, constituyeron aspectos necesarios para la decisión de cómo interconectar estos lugares, y posteriormente seleccionar el equipamiento a utilizar. Teniendo en cuenta que los aspectos anteriormente mencionados satisfacen los requisitos necesarios para realizar un enlace entre los puntos, se procedió con el diseño del mismo.

*Conclusiones*

## **CONCLUSIONES**

1. Las redes de área local inalámbricas constituyen una alternativa a las redes cableadas y permiten la comunicación mediante ondas de radio.
2. Existen numerosos estándares IEEE 802.11 que responden a diferentes aplicaciones, entre los que se destacan: IEEE 802.11a, IEEE 802.11b y IEEE 802.11g.
3. El análisis de las características de un radioenlace tales como pérdidas básicas de propagación, la sensibilidad en el receptor, los niveles de potencia transmitida, resultan de suma importancia para el diseño de un enlace.
4. Los equipos de tecnología inalámbrica, están diseñados para cumplir con determinados requerimientos; su selección está en dependencia de las necesidades del usuario y del lugar donde se va a utilizar.
5. Se realizó el diseño teórico de una red de área local inalámbrica para interconectar el Centro de Investigación del Jardín Botánico con la FIE.

# *Recomendaciones*

## **RECOMENDACIONES**

Este trabajo llega hasta del diseño teórico de la red. Queda entonces la terminación del montaje del equipamiento, incluido el aterramiento, la configuración y puesta a punto del enlace. Este trabajo se hará de Conjunto con Copextel y el Grupo Central de Redes de la Universidad. Por lo que se proponen las siguientes recomendaciones:

1. Aplicar el diseño teórico al montaje del enlace, configuración y análisis del rendimiento de las redes y subredes que se crean.
2. Realizar un estudio para analizar el aprovechamiento de este enlace en la interconexión con otras zonas de la Universidad.
3. Utilizar las WLAN para lograr la redundancia de la red universitaria y en el caso que existan fallas, no se afecten los servicios.

# *Referencias Bibliográficas*

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Alonso, Ch. (2006) “¿Cómo proteger una red inalámbrica?” en *PC-World*. [En línea]. España, disponible en: <http://www.idg.es/pcworldtech/estructura/imprimir.asp?id=297748118&cat=art> [Accesado el día 2 de mayo de 2007]
- Álvarez Calvo, M. et al. (2005) “Las Telecomunicaciones y la Movilidad en la Sociedad de la Información” en *TID Telefónica I+D*. [En línea]. España, disponible en: [http://www.tid.es/html/libros\\_sector\\_telecomunicaciones.html0.pdf](http://www.tid.es/html/libros_sector_telecomunicaciones.html0.pdf) [Accesado el día 22 de marzo de 2007]
- Bates, Regis., (2003) *Comunicaciones inalámbricas de banda ancha*. Mc Graw-Hill/Interamericana de España. Madrid. España.
- Breeze Access TM II. (2004) en *Alvarion*. [En línea]. Disponible en: [www.owns.bfioptilas.es/html/rf\\_mw/access\\_vl.pdf](http://www.owns.bfioptilas.es/html/rf_mw/access_vl.pdf) [Accesado el día 27 de abril de 2007]
- Caballé, X., (2005) “Demostrado: el cifrado WEP no sirve para nada” en *Hispacec sistemas*. [En línea]. Disponible en: <http://www.hispasec.com/unaaldia/2398> [Accesado el día 5 de abril de 2007]
- Calderón, O. y V. Quintero, (2004) “Un nuevo aspecto de la movilidad: redes Ad-Hoc-conceptos” en *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*. Volumen 1 No. 3. 2004, Facultad de Ingeniería Electrónica, Universidad de Cauca. [En Línea]. Disponible en: <http://www.control-automatico.net/PDF/Revista%203/redes.pdf> [Accesado el día 31 de mayo de 2007]
- Carlson, B.; Paul, C. y J. Rutledge, (2002) *Communication Systems, an introduction to signals and noise in electrical communication*. 4a edición, Mc Graw-Hill, Nueva York, EUA.
- DLINK Latinoamérica. (2004) “Redes inalámbricas” en *Maestros del Web*. [En línea]. Disponible en: <http://www.maestrosdelweb.com/editorial/redeswlan/> [Accesado el día 2 de marzo de 2007]

- Fernández G. E., (2007) “Wi-Fi: nuevos estándares en evolución” en *Centro de Difusión de Tecnologías CEDITEC ETSIT-UPM*. Universidad Politécnica de Madrid. [En línea] España, disponible en: <http://www.ceditec.etsit.upm.es/InfTecnologia/wifi.pdf> [Accesado el día 26 de febrero de 2007]
- Figueroa Domínguez, M. V., y D. Merinto Mateo., (2004) “Soluciones de seguridad en redes inalámbricas” en *Astic*. [En línea]. España, disponible en: [www.astic.es/SiteCollectionDocuments/Astic/Documentos/Boletic/Boletic%2032/mon04.pdf](http://www.astic.es/SiteCollectionDocuments/Astic/Documentos/Boletic/Boletic%2032/mon04.pdf) [Accesado el día 30 de febrero de 2006]
- Flickenger, Rob.; et al. (2006) “Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo Una guía práctica para planificar y construir infraestructuras de telecomunicaciones de bajo costo” en *Montevideo Libre*. [En línea]. Disponible en <http://www.montevideolibre.org/doku.php/manuales:libros> [Accesado el día 17 de abril de 2007]
- Fout, T. Barkley, W. Y M. Lee. (2007) “Tecnologías de redes inalámbricas y Windows XP” en *Latinoamerica Microsoft TechNet*. Disponible en <http://www.microsoft.com/latam/technet/articulos/windowsxp/2008/default.asp> [Accesado el día 20 de febrero de 2007]
- García Amores, Ariel., (2004) *Cálculo de Cobertura de Redes Inalámbricas de Área Local*, Trabajo de Diploma, Departamento de Telecomunicaciones, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Central “Martha Abreu” de Las Villas, Cuba.
- García Fernández, Néstor., (2005) *Modelo de cobertura en redes inalámbricas basado en radiosidad por refinamiento progresivo*. Trabajo Doctoral. Universidad de Oviedo. [En línea]. España, disponible en: <http://www.di.uniovi.es/~cueva/investigacion/tesis/Nestor.pdf> [Accesado el día 17 de mayo de 2007]
- Geier, Jim. (2002) “802.11a: An Excellent Long Term Solution” en *Wi-fi planet*. Disponible en: <http://www.wi-fiplanet.com/tutorials/article.php/1436331> [Accesado el día 11 de abril de 2007]

- Hernando, J. M. (1995) *Transmisión por radio*, 4ª Edición, Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, S.A. ETSIT. España.
- Introducción a la Tecnología Wireless 802.11 en *Advento networks*. [En línea]. Disponible en: [http://www.e-advento.com/tecnologia/wlan\\_intro.php](http://www.e-advento.com/tecnologia/wlan_intro.php) [Accedido el día 1 de junio de 2007]
- K-BEST Tech Wlan Solutions (2005) Official Product Catalogue en *K-Best technology*. [En línea]. Disponible en: [http://www.electronics.intron.hu/katalogus/INTRON\\_K-Best\\_KAT\\_Ang.pdf](http://www.electronics.intron.hu/katalogus/INTRON_K-Best_KAT_Ang.pdf) [Accesado el día 12-marzo de 2007]
- Kreft, A. (2003) “Redes Inalámbricas” en *pc-news.com*. Estados Unidos, disponible en: <http://www.pc-news.com/detalle.asp?sid=&id=4&Ida=1270> [Accesado el 1 de mayo de 2007]
- León-García, A., e I. Widjaja, (2005) “*Communications Networks. Fundamentals Concepts and Key Architecture*”. Mc Graw-Hill, Nueva York, EUA
- Leyva, E., (2005). “ Qué es Wi-Fi? Algunas aplicaciones”. *Tono*. Número 3, 2005, pp. 12-15.
- Luther J., (2005). “Una guía de los estándares inalámbricos. El alfabeto 802.11 en *Linux Magazine*. No. 4. 2005. [En línea]. España, disponible en: <https://www.linux-magazine.es/issue/04/80211.pdf> [Accesado el día 12 de marzo de 2007]
- Martínez, E. y J. A. García. (2006). “Redes Wi-Fi en malla (wi-fi mesh networks)” en *Eveliux.com-Tecnologías de información*. [En línea]. México, disponible en: <http://www.eveliux.com/index.php?option=content&task=view&id=92&Itemid=> [Accesado el día 30 de mayo de 2007]
- Matos, J.; (2005) *TV Directa por satélite*. España.
- MicroAlcarria, (2007). Cálculos para realizar un enlace wireless en *MicroAlcarria*. [En línea]. Disponible en: [http://www.microalcarria.com/miscelanea/calculos\\_enlace\\_wireless/](http://www.microalcarria.com/miscelanea/calculos_enlace_wireless/) [Accesado el día 12 de abril de 2007]

- Novakovic, Z.; (2004) “Roaming and WLAN” en *MobileIN.com*. [En línea]. Disponible en: [http://www.mobilein.com/Perspectives/Authors/zagaWLAN\\_Roaming.htm](http://www.mobilein.com/Perspectives/Authors/zagaWLAN_Roaming.htm) [Accesado el día 9-mayo-07]
- Paramowifix, (2007) “Link Planning for Wireless LAN (WLAN)”. [En línea]. Disponible en: <http://www.paramowifix.net/antenas/calculoenlacewlan.html> [Accesado 12 de abril de 2007]
- Proakis, J., (2001) *Digital Communications*. Tomo 3, 4ta Edición, Nueva York, Mc Graw-Hill, EUA.
- Proyecto Extremadura. (2007) “Redes Inalambricas. Antenas” en *Wepcc*. [En línea]. Disponible en: [http://rinuex.unex.es/modules.php 38 antennas](http://rinuex.unex.es/modules.php?38_antennas) [Accesado el día 19 de abril de 07]
- Ramasarma, V., (2002) “A Coverage Area Estimation Model for Interference-Limited Non-Line-of-Sight Point-to-Multipoint Fixed Broadband Wireless Communication Systems”. Trabajo de Máster en Ciencias. Instituto Politécnico de Virginia. EUA.
- Ramos Pascual, F. (2005) “Medidas de distorsión no lineal en dispositivos de radiofrecuencia (Parte I)” en *Radiocomunicaciones y fibra óptica*. [En línea]. España, disponible en: [http://www.radioptica.com/Radio/intermodulacion\\_1.asp?pag=2](http://www.radioptica.com/Radio/intermodulacion_1.asp?pag=2) [Accesado el día 29 de abril de 2007]
- Redes de Acceso de Banda Ancha Navarra, (2007) Acceso al medio en UPNA Universidad Pública de Navarra. [En línea]. España. Disponible en: <http://www.unavarra.es/organiza/etsiit/cas/estudiantes/pfc/redacna/Tecnologias%20de%20Acceso/WLAN/elementos%20red/acceso%20al%20medio.htm> [Accesado el día 15-marzo-07]
- Sklar, B., (1998) *Digital Communications. Fundamentals and applications*. Tomo 2, Nueva Jersey, Prentice Hall, EUA.
- Sotolongo Gómez, A. y T. Poveda Bestard, (2006). “Modulación por conmutación de código complementario” en *Telem@tica* Año IV No. 5. Enero 2006, Departamento de Telemática del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. [En línea]. Cuba. Disponible en:

[http://www.cujae.edu.cu/revistas/telematica/Publicaciones/Telem@tica\\_AnoIV\\_No15.pdf](http://www.cujae.edu.cu/revistas/telematica/Publicaciones/Telem@tica_AnoIV_No15.pdf) [Accesado el día 30 de marzo de 2007]

Tienda de Productos Inalámbricos (2007). En Wimaxom Instalaciones Wi-Wireless. [En línea]. Disponible en: <http://www.wimaxom.com/tienda/> [Accedido 17 de mayo de 2007]

Tsunami Quickbridge Wireless Radio Outdoor (2002) en *Proxim*. [En línea]. Disponible en: [www.nationalwireless.ie/pdfs/quickbridge20\\_a4.pdf](http://www.nationalwireless.ie/pdfs/quickbridge20_a4.pdf) [Accesado el día 24 de febrero de 2007]

Wang, X. y H. Vincent Poor, (2003) *Wireless Communication Systems: Advanced Techniques for Signal Reception*. Prentice Hall. EUA

Wave ACCESS NET (1999) en *Lucent Technologies Bell Labs Innovations*. [En línea]. Disponible en: [comtech.supermicro.ca/comtech/productBrochures/DSLUCENW102400.PDF](http://comtech.supermicro.ca/comtech/productBrochures/DSLUCENW102400.PDF) [Accesado el día 14 de mayo de 2007]

Zyren, J.; (2001). "IEEE 802.11g Explained" en *Forskningsnett.Uninett* [En línea]. [En línea]. Disponible en: [http://forskingsnett.uninett.no/wlan/download/WP\\_IEEE802gExpla\\_12\\_06.pdf](http://forskingsnett.uninett.no/wlan/download/WP_IEEE802gExpla_12_06.pdf) [Accesado el día 11 de abril de 2007]

Zyren, J.; (2002). "Supporting Backward Compatibility in 802.11g" en *CommsDesign and EE community*. [En línea]. Disponible en: <http://www.techweb.com/encyclopedia/defineterm.jhtml?term=CCK%2FOFDM> [Accesado el día 24 de abril de 2007]

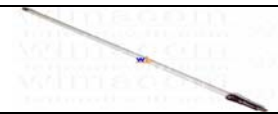





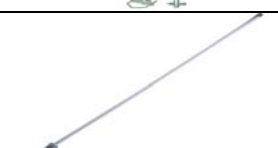

*Anexos*

## ANEXOS




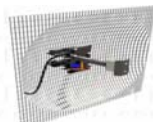
## Anexo I Puntos de Acceso

Producto	Descripción	Precio
	Buffalo [WHR-HP-G54-2] AirStation High Power Wireless Cable/DSL Smart Router Conector Antena RP-SMA Hembra	62,95EUR
	Conceptronic [ C54APM ] Punto de Acceso Bridging Wireless 54Mbps 802,11g Conector Antena RP-SMA	39,95EUR
	D-Link [ DI-524UP ] Router Punto de Acceso con USB Print Server 54Mbps 802,11b/g 4 Ethernet con Conector Antena RP-SMA	55,90EUR
	Linksys [WAP54G-EU] Punto de Acceso Wireless 54Mbps 802,11g 2x Conector Antena RP-TNC	59,95EUR
	Linksys [WRT54GL-EU] Router Punto de Acceso Wireless 54Mbps 802.11g 4 Ethernet 2x Conector Antena RP-TNC linux	56,95EUR
	Ovislink [EVOW108AR] Router Punto de Acceso Wireless 108/54/11 Mbps + 1 Puerto WAN + 4 Puertos 10/100 Mbps. Chipset Athero	71,99EUR
	Senao [NOC-3220-EXT] Engenius Punto de Acceso Wireless 802,11b/g Exterior Punto Multipunto WDS Bridge Conector RP-SMA (400mW)	202,36EUR
	StraightCore [SC GWP-106VE] Punto de Acceso Wireless 802,11b/g Para Exterior con Antena Planar de 14dbi Incorporada + POE	119,95EUR
	Wifisafe [X-MINITAR-ABG] Punto de acceso Tribanda AP/bridge/cliente Minitar 802.11 a/b/g 54Mbps con 5 Ethernet conector RP-SMA	83,99EUR
	Wisacom [WISACOM 54G] Acces Point para exterior 802.11b/g Multi-funcional (AP/Bridge/Repeater/Cliente) antena panel interna	238,80EUR





## Anexo II Antenas Omnidireccionales

Productos	Descripción	Precios
	[AO24-15DBEXNH] de 15dBi para 2,4GHz Exterior Con Conector N Hembra	68,90EUR
	[AO24-5DBBMC] de 5dBi para 2,4GHz Base Magnética Conector MC	15,50EUR
	[AO24-7DBBMC-MMCX] de 7dBi para 2,4GHz Base Magnética Conector MMCX Desmontable.	23,95EUR
	CyberBajt [ CYB-AO-10 ] de 10 dB para 2,4Ghz Exterior Conector N Hembra	39,95EUR
	Interline [INT-HOR-09-24-V] de 9 dB para 2,4Ghz Exterior Conector N Hembra	49,95EUR
	Interline [INT-HOR-12-24-V] de 12 dB para 2,4Ghz Exterior Conector N Hembra	69,25EUR
	Ovislink [WAE-120V] de 12dBi para 2,4GHz Exterior Con Conector N Hembra	78,95EUR
	Ovislink [ WAE-85 ] de 8,5dBi para 2,4GHz Exterior Con Conector N Hembra	63,95EUR



### Anexo III Antenas Parabólicas

Productos	Descripción	Precios
	Equinox [ SA 2415F ] Antena Parabólica Rejilla de 15dBi para 2,4GHz Exterior Con Conector Antena N Hembra	45,60EUR
	Equinox [SA 2424F] Antena Parabólica Rejilla de 24dBi para 2,4GHz Exterior Con Conector Antena N Hembra	68,40EUR
	Interline [ INT-PAR-27-24-HV ] Antena Parabólica de 27dBi para 2,4GHz Exterior Con Conector N Hembra	113,95EUR
	Stella Doradus [ 24 SD21 ] Antena Parabólica de Rejilla SD21 de 20,5dBi para 2,4GHz Exterior Conector N Macho	34,95EUR




### Anexo IV Antenas Panel

Producto	Descripción	Precio
	CyberBajt [CYB PAN 11-3M-NH] de 11,5dBi para 2,4GHz para Exterior Conector N Hembra 3 Metros de Pigatil	19,95EUR
	CyberBajt [ CYB-PA-16DBI-NH ] de 16dBi para 2,4GHz para Exterior Conector N Hembra	32,40EUR
	Interline [ INT-PAN-14-24-HV ] de 14dBi para 2,4GHz Exterior Con Conector N Hembra	24,95EUR
	Ovislink [WAE-180PM] de 18dBi para 2,4GHz para Exterior Con Conector N Hembra de Larga Distancia	86,95EUR

### Anexo V Antenas Sectoriales

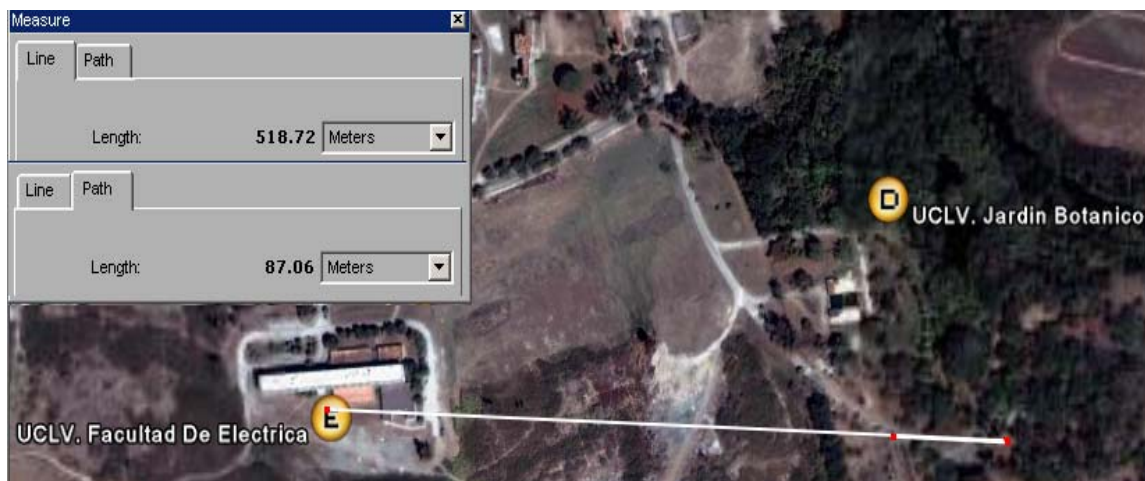
Producto	Descripción	Precio
	Interline [INT-SEC-15-24-V] de 15dBi 88° x 8° para 2,4Ghz Exterior Con Conector N Hembra	109,95EUR
	Interline [INT-SEC-17-24-V] de 17dBi para 2,4Ghz Exterior Con Conector N Hembra	114,95EUR

### Anexo VI Kit de Instalación

Producto	Descripción	Precio
	Kit 2 Senao Engenius AP NOC-3220-EXT Wireless Exterior Antena Parabolica SD19 + Pigtail 1,5M LMR-400 (400mW)	464,95EUR
	Kit Buffalo Router Punto de Acceso WHR-G54S Pigtail de 1,5 metros LMR-195 Antena Panel Interline 14dBi 2,4GHz	79,95EUR
	Kit Linksys Router AP WRT54GL-EU Antena Omnidireccional 15 dBi 2,4GHz + Pigtail 3 metros LMR-400	129,90EUR

Fuente: Wimaxcom

### Anexo VII Distancia entre los puntos de Jardín Botánico y la FIE.



**Anexo VIII Listado de equipos de la marca K-BEST que oferta Copextel en Cuba.**

<i>Descripción</i>	<i>U</i>	<i>Precio</i>
<b>BL3000 SERIES</b>		
<i>BL3005 Kbest P - MP 2.4GHz with integrated 18 dBi Flat Panel Antenna 802.11 (DSSS) 0.1 W</i>	<i>Uno</i>	<i>1,699.75</i>
<i>BL3006 Kbest P - MP 2.4GHz with integrated 18 dBi Flat Panel Antenna 802.11 (DSSS) 0.5 W</i>	<i>Uno</i>	<i>1,47.63</i>
<i>BL3007 Kbest P - MP 2.4GHz with integrated 18 dBi Flat Panel Antenna 802.11 (DSSS) 1 W</i>	<i>Uno</i>	<i>2,080.42</i>
<i>BL3008 Kbest P - MP 2.4GHz with integrated 18 dBi Flat Panel Antenna 802.11 (DSSS) 2 W</i>	<i>Uno</i>	<i>2,390.27</i>
<i>BL3201 Kbest P - MP 2.4GHz with integrated 18 dBi Flat Panel Antenna 802.11g (OFDM) 0.1 W</i>	<i>Uno</i>	<i>1,416.45</i>
<i>BL3202 Kbest P - MP 2.4GHz with integrated 18 dBi Flat Panel Antenna 802.11g (OFDM) 0.5 W</i>	<i>Uno</i>	<i>1,903.36</i>
<i>BL3203 Kbest P - MP 2.4GHz with integrated 18 dBi Flat Panel Antenna 802.11g (OFDM) 1 W</i>	<i>Uno</i>	<i>2,124.68</i>
<i>BL3016 Kbest P - MP 5.8 GHz with integrated 24 dBi Flat Panel Antenna 802.11 (DSSS) 0.2 W</i>	<i>Uno</i>	<i>2,213.21</i>
<i>BL3411 Kbest P - MP 5.8 GHz with integrated 24 dBi Flat Panel Antenna 802.11a (OFDM) 18dBm</i>	<i>Uno</i>	<i>1,991.89</i>
<i>BL3412 Kbest P - MP 5.8 GHz with integrated 24 dBi Flat Panel Antenna 802.11a (OFDM) 0.5 W</i>	<i>Uno</i>	<i>2,655.85</i>
<i>BL34B1 Kbest P - MP 5.8 GHz with integrated 22 dBi Flat Panel Antenna 802.11a (OFDM) 18dBm</i>	<i>Uno</i>	<i>1,991.89</i>
<i>BL34B2 Kbest P - MP 5.8 GHz with integrated 22 dBi Flat Panel Antenna 802.11a (OFDM) 0.5 W</i>	<i>Uno</i>	<i>2,655.85</i>
<b>BL 4000 SERIES</b>		
<i>BL4001 Kbest P - MP 2.4 GHz (Need to use external Antenna) 802.11b (DSSS) 0.1 W</i>	<i>Uno</i>	<i>1,239.40</i>
<i>BL4002 Kbest P - MP 2.4 GHz (Need to use external Antenna) 802.11b (DSSS) 0.5 W</i>	<i>Uno</i>	<i>1,593.51</i>
<i>BL4003 Kbest P - MP 2.4 GHz (Need to use external Antenna) 802.11b (DSSS) 1 W</i>	<i>Uno</i>	<i>1,726.30</i>
<i>BL4004 Kbest P - MP 2.4 GHz (Need to use external Antenna) 802.11b (DSSS) 2 W</i>	<i>Uno</i>	<i>2,036.15</i>
<i>BL4201 Kbest P - MP 2.4 GHz (Need to use external Antenna) 802.11g (OFDM) 0.1 W</i>	<i>Uno</i>	<i>1,106.61</i>
<i>BL4202 Kbest P - MP 2.4 GHz (Need to use external Antenna) 802.11g (OFDM) 0.5 W</i>	<i>Uno</i>	<i>1,637.78</i>
<i>BL4203 Kbest P - MP 2.4 GHz (Need to use external Antenna) 802.11g (OFDM) 1 W</i>	<i>Uno</i>	<i>1,859.10</i>
<i>BL4012 Kbest P - MP 5.725-5.85 GHz (Need to use external Antenna) 802.11b (DSSS) 0.3 W</i>	<i>Uno</i>	<i>2,213.21</i>
<i>BL4411 Kbest P - MP 5.725-5.85 GHz (Need to use external Antenna) 802.11a (OFDM) 18 dBm</i>	<i>Uno</i>	<i>1,637.78</i>
<i>BL4412 Kbest P - MP 5.725-5.85 GHz (Need to use external Antenna) 802.11a (OFDM) 0.5 W</i>	<i>Uno</i>	<i>2,301.74</i>
<i>BL44B1 Kbest P - MP 5.4-5.7 GHz (Need to use external Antenna) 802.11a (OFDM) 18 dBm</i>	<i>Uno</i>	<i>1,637.78</i>
<i>BL44B2 Kbest P - MP 5.4-5.7 GHz (Need to use external Antenna) 802.11a (OFDM) 0.5 W</i>	<i>Uno</i>	<i>2,301.74</i>

<i>Descripción</i>		<i>U</i>	<i>Precio</i>
<b>ANTENAS</b>			
Antena sectorial de 90° en 2.4 GHz Ganancia 16 dBi		Uno	433.96
Antena sectorial de 120° en 2.4 GHz Ganancia 12 dBi		Uno	607.55
<b>KIT DE CABLES</b>			
CBL-50		Uno	78.12
CBL-70		Uno	156.23
CBL-90		Uno	190.94
<b>Lighting Protector</b>			
Protector Polyphaser IX-2H2DC48/W		Uno	98.06

Fuente: Copextel SA

### Anexo IX Equipos K-BEST para determinadas aplicaciones



Fuente: K-Best technology

### Anexo X Canales de Frecuencia para las diferentes canales

Canal	US / Canadá	Europa	Francia	España	Japón
1	2412	2412	-	-	2412
2	2417	2417	-	-	2417
3	2422	2422	-	-	2422
4	2427	2427	-	-	2427
5	2432	2432	-	-	2432
6	2437	2437	-	-	2437
7	2442	2442	-	-	2442
8	2447	2447	-	-	2447
9	2452	2452	-	-	2452
10	2457	2457	2457	2457	2457
11	2462	2462	2462	2462	2462
12	-	2467	2467	-	2467
13	-	2472	2472	-	2472
14	-	-	-	-	2484

## Anexo XI Hoja de cálculo utilizada para estimar la distancia de alcance máxima.

### *Cálculo de distancia alcance entre antenas*

f (Frecuencia) =  MHz En España Canal 11

Z (Impedancia sistema) =  omnios

$P_{TX}$  (Potencia entregada a antena transmisora) =  dBm (  NaN dBW,  NaN mW,  NaN W)

$S_{RX}$  (Sensibilidad en receptor) =  dBm (  NaN dBW,  NaN mW,  NaN W)

M (Márgen ganancia para permitir error datos digital aceptable) =  dB

$G_{TX}$  (Ganancia antena transmisora respecto isotrópica) =  dBi

Cable de  metros con atenuación de  dB/m =  0 dB

$G_{RX}$  (Ganancia antena receptora respecto isotrópica) =  dBi

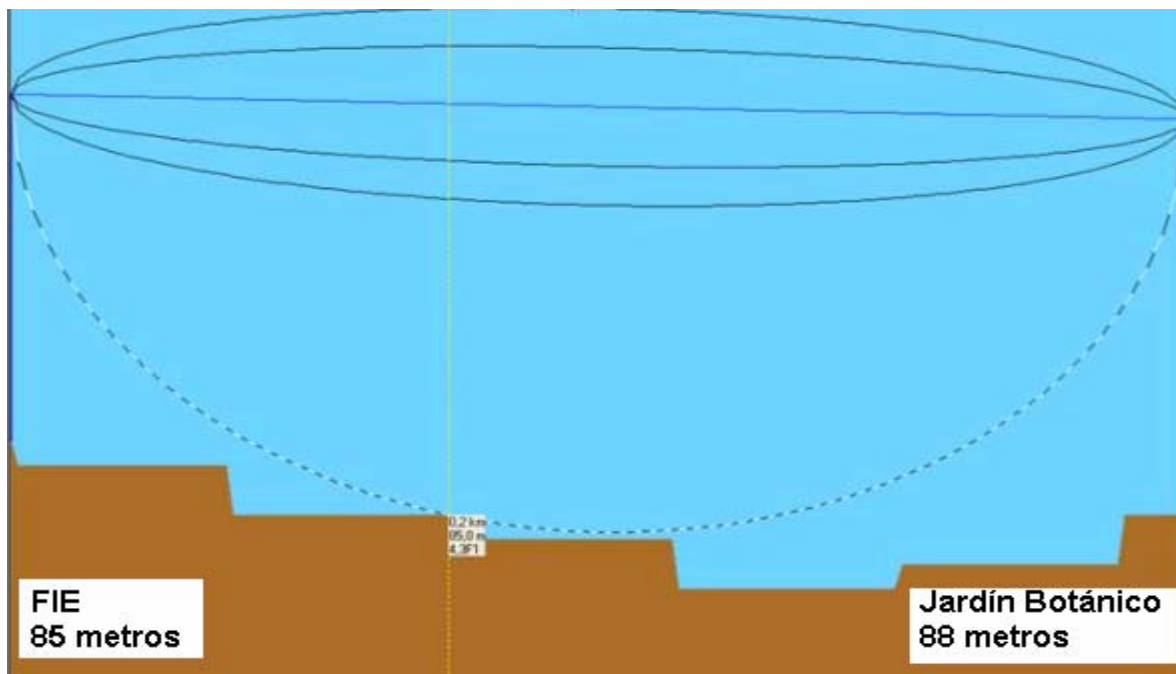
Cable de  metros con atenuación de  dB/m =  0 dB

$P_{rad}$  (Potencia radiada en antena transmisora) =  NaN dBW (  NaN dBm,  NaN W,  NaN mW)

$P_{req}$  (Potencia requerida en antena receptora) =  NaN dBW (  NaN dBm,  NaN W,  NaN mW)

D (Distancia máxima entre antenas) =  NaN Km

## Anexo XII Estimación de la zona de Fresnel según el Software Profesional Cobra



# *Glosario*

## GLOSARIO

**ADSL** (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) Línea de Subscriptor Digital Asimétrica.

**AES** (*Advanced Encryption Standard*) Estándar de Encriptación Avanzada.

**AP** (*Access Point*) Punto de Acceso, dispositivo encargado de establecer la comunicación entre una estación en una WLAN con la red local correspondiente.

**APSD** (*Automatic Power Save Delivery*) Entrega Segura de Potencia Automática.

**BPSK** (*Binary Phase Shift Keying*) Modulación por Desplazamiento de la Fase de dos Estados.

**BRAN** (*Broadband Radio Access Networks*) Redes de Acceso de Radio de Banda Ancha.

**BSS** (*Basic Service Set*) Grupo de Servicio Básico, conjunto de estaciones que compiten por acceder a un mismo AP conectado a un sistema de distribución.

**CCK** (*Complimentary Code Keying*) Conmutación de Códigos Complementarios.

**CSMA/CA** (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) Acceso Múltiple por Detección de Portadora Evitando Colisión.

**DAB** (*Digital Audio Broadcasting*) Transmisión por Audio Digital.

**DBPSK** (*Differential Binary Phase Shift Keying*) Modulación Digital de Fase Diferencial Binaria.

**DCF** (*Distributed Coordinate Function*) Función de Coordinación Distribuida.

**DFS** (*Dynamic Frequency Selection*) Selección Dinámica de Frecuencia.

**DLC** (*Data Link Control*), Control del Enlace de Datos.

**DSSS** (*Direct Sequence Spread Spectrum*) Técnica de Espectro Extendido de Secuencia Directa.

**DVB** (*Digital Video Broadcasting*) Transmisión de Video Digital. Estándar internacional de radiodifusión digital para aplicaciones de video, voz y dato. DVB puede ser aplicable a las comunicaciones vía satélite (DVB-S), por cable (DVB-C) o en sistemas terrestres (DVB-T).

**EAP** (*Extensible Authentication Protocol*) Protocolo de autenticación.

**EAP-LEAP** (*Light Extensible Authentication Protocol*) Protocolo de Autenticación Extensible Ligero.

**EAP-PEAP** (*Protected Extensible Authentication Protocol*) Protocolo de Autenticación Extensible Protegido.

**EAP-TLS** (*Transport Layer Security*) Seguridad de la Capa de Transporte.

**EAP-TTLS** (*Tunneling Transport Layer Security*) Seguridad de la Capa de Transporte Socavada.

**ESS** (*Extended Service Set*) Grupo de Servicio Extendido.

**ETSI** (*European Telecommunication Standards Institute*) Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones.

**FCC** (*Federal Communications Commission*) Comisión Federal de Comunicaciones,

**FHSS** (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) Técnica de Espectro Extendido por Salto de Frecuencia.

**HCF** (*Hybrid Coordination Function*) Función Coordinación Híbrida.

**HiperLAN** (*High Performance Radio LAN*) Estándar inalámbrico europeo de alto desempeño en redes WLAN. Se le reconocen 4 tipos fundamentales: HiperLAN 1 y 2, HiperACCESS e HiperLINK, cada uno con características y aplicaciones específicas.

**IAPP** (*Inter-Access Point Protocol*) Protocolo entre Puntos de Acceso.

**IBM** (*International Business Machine*) Máquina de Negocios Internacional.

**IBSS** (*Independent Basic Service Set*) Grupo de Servicio Básico Independiente.

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

**IEEE 802** Comité de la IEEE organizado para crear los estándares de las Redes de Área Local. La IEEE 802.11 especifica las normas para la redes LAN inalámbricas.

**ISI** (*Intersymbol Interference*) Interferencia Entre Símbolos.

**ISM** (*Industrial Scientific Medical*) Bandas de aplicaciones industriales, científicas y médicas.

**ISO** (*International Standard Organization*) Organización Internacional de Estándares.

**ITS** (*Intelligent Transport System*) Sistema de Transportación Inteligente.

**ITU** (*International Telecommunication Union*) Unión Internacional de Telecomunicaciones.

**LAN** (*Local Area Network*) Red de Área Local.

**LOS** (*Line-of-Sight*) Línea visual.

**MAC** (*Medium Access Control*) Control de Acceso al Medio.

**MACA** (*Multi Access Collision Avoidance*) Múltiple Acceso Evitando Colisiones.

**MAN** (*Metropolitan Area Network*) Red de Área Metropolitana.

**MIC** (*Message Integrity Control*) Control de Integridad del Mensaje.

**MIMO** (*Multiple Input Multiple Output*) Múltiple Entrada Múltiple Salida.

**NIC** (*Network Interface Card*) Tarjeta de Interfaz de Red.

**NLOS** (*Non-Line-of-Sight*) Fuera de la línea visual.

**OFDM** (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales.

**OLOS** (*Obstructed-Line-of-Sight*) Línea visual obstruida.

**OTP** (*One Time Password*) Contraseñas no Estáticas.

**PAN** (*Personal Area Network*) Red de Área Personal.

**PBCC** (*Packet Binary Convolutional Code*) Codificación Convolutiva de Paquetes Binarios.

**PCF** (*Point Coordinate Function*) Función de Coordinación Puntual.

**PDU** (*Protocol Data Unit*) Unidades de datos de protocolo.

**PHY**(*Physic*) Físico.

**PIRE** (*Potencia Isotrópica Radiada Equivalente*) Resultado del producto de la potencia suministrada a la antena por la ganancia isotrópica de esta.

**PBCC** (*Packet Binary Convolutional Coding*) Codificación Convolutiva Binaria de Paquetes.

**PSK** (*Pre Shared Key*) Llave PreCompartida.

**QAM** (*Quadrature Amplitud Modulation*) Modulación de Amplitud en Cuadratura.

**QoS** (*Quality of Service*) Calidad de Servicio.

**QPSK** (*Quadrature Phase Shift Keying*) Modulación Cuaternaria por Desplazamiento de Fase.

**RADIUS** (*Remote Authentication Dial In User Service*) Servicio de Usuario de Acceso Telefónico de Autenticación Remota.

**SAP** (*Service Access Point*) Punto de Acceso de Servicio.

**SHF** (*Super High Frequency*) Súper alta frecuencia.

**SNMP** (*Signaling Network Main Protocol*) Protocolo Principal de Señalización de Red.

**SIDD** (*Service Set Identifier*) Identificador del Grupo de Servicio.

**SIFS** (*Short Inter Frame Space*) Pequeño Espaciado Entre Tramas.

**SS** (*Spread Spectrum*) Espectro Extendido.

**TCP** (*Transport Control Protocol*) Protocolo de Control de Transporte.

**TDMA** (*Time Division Multiple Access*) Múltiple Acceso por División el Tiempo.

**TKIP** (*Temporal Key Integrity Protocol*) Protocolo de integridad de clave temporal.

**TPC** (*Transmitter Power Control*) Control de Potencia del Transmisor.

**UHF** (*Ultra High Frequency*) Banda de frecuencias ultra altas entre 300 y 3000 MHz.

**UDP** (*User Datagram Protocol*) Protocolo de Datagrama de Usuario.

**UNII** (*Unlicensed National Information Infrastructure*) Infraestructura de Información Nacional Sin Licencia.

**VoIP** (*Voice over IP*) Voz sobre IP.

**WAN** (*Wide Area Network*) Red de Área Extendida.

**WB** (*Workgroup Bridge*) Puente de Trabajo.

**WECA** (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*) Alianza de Compatibilidad en Ethernet Inalámbrica.

**WEP** (*Wired Equivalent Privacy*) Equivalente a Privacidad Cableada, protocolo de seguridad en redes WLAN.

**WDS** (*Wireless Distribution System*) Sistema de Distribución Inalámbrica.

**Wi-Fi** (*Wireless Fidelity*) Fidelidad Inalámbrica certificación a los productos de redes WLAN.

**Wi-Fi 5** (*Wireless Fidelity 5*) Certificación Wi-Fi para la tecnología dentro de la banda de los 5 Ghz.

**WLAN** (*Wireless Local Area Network*) Red de Área Local Inalámbrica.

**WMAN** (*Wireless Metropolitan Area Network*) Red de Área Metropolitana Inalámbrica.

**WPA** (*Wi-Fi Protected Access*) Acceso Protegido Wi-Fi, protocolo de seguridad altamente confiable.

**WPA2** (*Wi-Fi Access Protected 2*) Acceso Protegido Wi-Fi 2.

**WPAN** (*Wireless Personal Area Network*) Red de Área Personal Inalámbrica.

**WWAN** (*Wireless Wide Area Network*) Red de Área Extendida Inalámbrica.