

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo**

**Tesis de Grado**

**Previo a la obtención del título de**

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

**Mención en Gestión Empresarial**

**“ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA INALAMBRICOS A 5.8  
GHz CON IMPLEMENTACION DE UN ENLACE PUNTO A  
PUNTO DE INTERNET BANDA ANCHA PARA LA HACIENDA  
LIMONCITO DE LA FACULTAD TECNICA PARA EL”  
DESARROLLO.**

**FASE N° 1**

**“ Estudio y diseño de un sistema inalámbrico para  
transferencia de datos a distancias mayores de 35 Km. Utilizando  
la banda de 5.8  
GHz.”**

**Realizado por:**

**Camino Coca Armando Vicente**

**Ponce Urdiales Iván Gabriel**

**Rugel Castillo José Alberto**

**Director**

**Ing. Orlando Philco Asqui**

**Guayaquil – Ecuador**

**2009 - 2010**



TESIS DE GRADO

**“ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA INALAMBRICOS A 5.8 GHz CON IMPLEMENTACION DE UN ENLACE PUNTO A PUNTO DE INTERNET BANDA ANCHA PARA LA HACIENDA LIMONCITO DE LA FACULTAD TECNICA PARA EL DESARROLLO.”**

Presentada a la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Por

Calderón Alarcón Byron Darío  
Camino Coca Armando Vicente  
Mendoza Loayza Mario Javier  
Ponce Urdiales Iván Gabriel

Rugel Castillo José Alberto  
Serrano López Homero Javier  
Tutiven Sánchez Pedro Alex

Para dar cumplimiento con uno de los requisitos para optar por el Título de:

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**  
Mención en Gestión Empresarial

**Miembros del Tribunal**

---

Ing. Héctor Cedeño Abad  
**Decano de la Facultad**

---

Ing. Pedro Tutiven López  
**Director de Carrera**

---

Ing. Orlando Philco Asqui  
**Director de Tesis**

---

Dr. Kléber López Parrales  
**Coordinador Administrativo**

---

Ing. Víctor del Valle Ramos  
**Coordinador Académico**

## **DEDICATORIA**

A nuestros queridos padres por el ejemplo de esfuerzo, dedicación y valores que de ellos hemos recibido.

Y a los estudiantes, de ingeniería en telecomunicaciones futuros profesionales, en especial a los estudiantes de la carrera de agropecuaria, economía agrícola que aprovechen la conexión con internet banda ancha, logro cumplido por los que realizamos esta tesis, también para los compañeros que vienen en semestres anteriores, que esta tesis sea para la apropiación de destrezas en configurar e implementar equipos en banda de 5.8 GHz.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por entregarnos sus bendiciones, por permitirnos vivir el presente momento y haber logrado cumplir con la entrega del presente documento.

A nuestros padres por su entrega y amor.

A los maestros por su enseñanza a lo largo de la carrera.

Al Ing. Orlando Philco Asqui por su acertada dirección y generosa colaboración para la preparación de este trabajo.

Al señor Rector Dr. Michel Doumet por su valiosa colaboración para el alquiler del espacio en una torre ubicada en Cerro Azul.

A los señores Ing. Héctor Cedeño, Ing. Pedro Tutiven, Ing. Víctor del Valle y al Dr. Kléber López por su gran apoyo.

Gracias.

## **PRÓLOGO**

El presente trabajo contempla el estudio y diseño de sistemas inalámbricos para transferencias de datos a distancias mayores de 35 km utilizando la banda de 5.8 GHz y la base principal para la elaboración del mismo es la aplicación de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera en lo referente a la transmisión, propagación de señales electromagnéticas que viajan si alambres.

El análisis del diseño del enlace como la acertada selección y el manejo de los equipos necesarios para ese efecto.

En este documento de tesis se podrá encontrar lo siguiente:

Conceptos estándares inalámbricos dados por la IEEE

Conceptos sobre radioenlace a grandes distancias.

Información para el cálculo de radioenlaces.

Información para el montaje de equipos de radioenlace en frecuencia libre

Información para montaje de repetidoras.

## **INDICE**

---

---

PRÓLOGO.....	4
INTRODUCCIÓN.....	9

### **CAPITULO 1 BANDA DE FRECUENCIA LIBRE 5GHZ**

1.1 Antecedentes.....	10
1.2 Planteamiento del problema.....	12
1.3 Justificación.....	13
1.4 Hipótesis.....	14
1.5 Objetivo General.....	14
1.5.1 Objetivos Específicos.....	15
1.6 Marco Teórico.....	15
1.7 Metodología.....	17
1.7.1 Fase I: Análisis de la situación actual.....	17
1.7.2 Fase II: Análisis de requerimientos.....	18
1.7.3 Fase III: Diseño.....	19

### **CAPITULO 2 ORGANIZACIONES Y ESTANDARES DE REDES INALAMBRICAS**

2.1 Organización WiFi Alliance.....	20
-------------------------------------	----

2.2 Bandas ISM Y UNII.....	21
2.3 Estándares IEEE 802.11.....	23
2.3.1 IEEE 802.11b.....	24
2.3.2 IEEE 802.11g.....	25
2.3.3 IEEE 802.11a.....	25
2.4 Arquitectura redes 802.11.....	27
2.4.1 Tipos de Servicio.....	28
2.5 Autenticación y Asociación.....	32
2.5.1 Estados de Autenticación y Asociación.....	33
2.5.2 Modos de Autenticación.....	33
2.6 Modos de Operación.....	35
2.7 Tipos de Redes.....	36
2.8 Parámetros wireless.....	40
2.9 Factor de Reuso.....	42
2.10 Factor de Distancia.....	43
2.11 Puntos de Acceso.....	44
2.12 Aislamiento en sistemas vecinos.....	45
2.13 Modulación de Radio.....	46
2.14 Eficiencia de Tiempo.....	49
2.15 Limite de la longitud del paquete y su tiempo.....	51

## CAPITULO 3 OTRAS TECNOLOGIAS INALAMBRICAS

3.1	Redes de Área Personal Inalámbricas.....	54
3.2	Infrarrojo.....	55
3.3	Redes Bluetooth.....	58
3.3.1	Características.....	59
3.3.2	Funcionamiento.....	60
3.3.3	Ventajas.....	61
3.3.4	Seguridad.....	62
3.3.5	Aplicaciones.....	63
3.4	WIFI.....	64
3.4.1	El uso del espacio del tiempo y del espectro.....	65
3.4.2	Comportamiento de Radiofrecuencia.....	67
3.5	Nomenclatura y Diseño de Componentes.....	70
3.5.1	Los servicios.....	73
3.5.2	El nivel PHY.....	75
3.5.3	El nivel MAC.....	78
3.5.4	Retos para la MAC.....	79
3.5.5	El acceso al medio por CSMA/CA.....	81
3.5.6	Estructura de la trama.....	82
3.6	Aplicación del 802.11b a largas distancias.....	86

3.6.1 Problemas y particularidades.....	87
3.6.2 La Potencia.....	87
3.6.3 Modelo Longley-rice.....	90
3.6.4 Modelo Tirem (terrain integrated rough earth model).....	91
3.6.5 La Velocidad.....	92
3.7 Elegir un Punto de Acceso.....	93
3.8 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing).....	95
3.9 Características de los Puntos de Acceso.....	99
3.9.1 El sistema de radio de los puntos de acceso.....	100
3.9.2 Los Puertos.....	100
3.9.3 Adaptadores Inalámbricos de red.....	101
3.9.4 Antena exterior o de alta Ganancia.....	103
3.9.5 Parámetros generales de una antena.....	107
3.9.6 Tipos de antenas.....	109
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>114</b>

## INTRODUCCION

Las comunicaciones sin alambre o wireless por su término en ingles, han venido a darnos como ventajas, la movilidad, no tener cables conectados, entre otras cosas también ciertas desventajas como inseguridad en su sistema, debido a su método de modulación poca o gran capacidad de transmisión de datos.

La FCC permitió la operación sin licencia de dispositivos que utilizan 1 Watt de energía o menos, en tres bandas de frecuencia: 902 a 928 MHz, 2,400 a 2,483.5 MHz y 5,725 a 5,850 MHz. Estas bandas de frecuencia, llamadas bandas ISM, estaban anteriormente limitadas a instrumentos científicos, médicos e industriales.

Para minimizar la interferencia, las regulaciones de FCC estipulan que una técnica de señal de transmisión llamada spread-spectrum modulation, la cual tiene potencia de transmisión máxima de 1 Watt, deberá ser utilizada en la banda ISM. Esta técnica ha sido utilizada en aplicaciones militares.

Hoy como profesionales competente analizamos y proponemos un diseño de enlace a distancias superiores a 35 Km. en la banda de 5GHz. Frecuencia de operación que nos da ciertas ventajas en transferencia de datos como mínimo nivel de interferencia en el enlace.

## **CAPITULO 1 BANDA DE FRECUENCIA LIBRE 5 GHz**

### **1.1 ANTECEDENTES**

Partiendo como antecedente que a nivel mundial una agrupación de varios países creó la WIFI Alliance (Wireless Fidelity). Organización creada por líderes proveedores de software y equipos inalámbricos con la misión de certificar los productos basados en el estándar IEEE 802.11 para lograr interoperabilidad y promover el término Wi-Fi como una marca global para cualquier producto basado en el 802.11.

Todos los productos basados en el 802.11 son llamados Wi-Fi, pero sólo los productos que han sido aprobados por la Wi-Fi Alliance tienen permitido llevar la marca registrada “Wi-Fi Certified”. Antiguamente el grupo era conocido como WECA, pero cambió su nombre en octubre de 2002.

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, IEEE una organización norteamericana técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización, entre otras cosas, establece normas para la compatibilidad y garantía en equipos y dispositivos que desarrolla la WIFI Alliance.

Según el mismo IEEE, su trabajo es promover la creatividad, el desarrollo y la integración, compartir y aplicar los avances en las tecnologías de la información, electrónica y ciencias en general para beneficio de la humanidad y de los mismos profesionales.

Mediante sus actividades de publicación técnica, conferencias y estándares basados en consenso, el IEEE produce más del 30% de la literatura publicada en el mundo sobre ingeniería eléctrica, en computación, telecomunicaciones y tecnología de control etc.

Entonces con equipos y dispositivos normalizados se tiene la garantía de compatibilidad entre varias marcas de aparatos inalámbricos, en el trabajo de esta tesis nos apoyamos en investigar todas las características de certificación Wi-Fi, además de recomendar el adecuado equipo para realizar un enlace punto a punto a mas de 35 Km de distancia.

También el diseñar el sistema sin cables para transferencia de datos, se propone analizar el mejor desempeño para realizar transmisiones de datos a distancias de 35 Km o más.

Usando como frecuencia de trabajo la de 5,8 GHz la cual no necesita licencia por parte de organismos que controlan el espectro radioeléctrico del país. Empezaremos a simular dicho enlace con ayuda de software Radio Mobile, uno de los tantos que nos puede ayudar a lograr exitosamente un enlace punto a punto a distancia de más de 35 km.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La adquisición del conocimiento y competencias para investigar y desarrollar diseños inalámbricos para grandes distancias, es una necesidad para los egresados de ingeniería en telecomunicaciones, pues es importante conocer sobre las normas y estándares que operan dispositivos y equipos inalámbricos.

No se prevalece un estudio serio para comprender que por diferentes factores se puedan ver afectadas las comunicaciones inalámbricas, resulta importante analizar y elaborar un diseño de conexión inalámbrica óptima para transmisiones de datos a gran distancia.

La Facultad Técnica no puede controlar por medio de su sistema integrado único (SIU) la asistencia normal de sus estudiantes y profesores de la carrera de agropecuaria, pues la ubicación de su extensión (Hacienda Limoncito) donde realizan prácticas de campo está en las afueras de la ciudad en Km48 vía a la costa, allí se encuentra una aula donde estudiantes reciben introducción teórica, faltando conexión de internet para investigación o consulta en línea, como Facultad Técnica es desventaja no tener conectividad de alguna forma con dicha extensión.

### **1.3 JUSTIFICACION**

Estudiar y analizar las normas, estándares y protocolos que Wi-Fi Alliance y la IEEE nos dan para enlaces en la banda de 5 GHz, como es el ejemplo del estándar IEEE 802.11a que día a día, evolucionan con nuevas normas de operación y compatibilidad para equipos y dispositivos.

Con el uso de determinadas bandas de frecuencia que no necesitan licencia para operar, facilita realizar conexiones punto a punto y punto a multipunto en frecuencias de 2,4GHz y 5GHz. para transmisiones de datos, voz y video.

Se propondrá diseñar un enlace para transmisión de datos entre la Facultad Técnica y su hacienda experimental “Limoncito” tarea justificable pues da potencialidad al aspecto educativo del conocimiento investigativo o consulta en línea, beneficio primordial para los estudiantes que reciben clases teórico-práctico en la hacienda Limoncito.

Otro factor importante es poner en el SIU a las materias que se dictan en dicha hacienda, controlar asistencias sin necesidad de estar una persona de control de cátedra en el lugar.

## **1.4 HIPÓTESIS**

El conocimiento y dominio de del estándar 802.11 es tan importante para conexiones a cortas y grandes distancias, sus enlaces se implementarán por muchos años más y lo que venga en el futuro (Wimax) no lo afectará sino mas bien se complementará.

Utilizar la banda de 5 GHz. para enlaces inalámbricos es mucho mejor que realizarlo en la banda de 2,4 GHz, con la frecuencia de 5,8 GHz no tendremos inconvenientes de interferencias por transmisores cercanos a nuestras radiobases o torres o “saturación” entre canales adyacentes, la técnica de modulación que utiliza esta frecuencia y estándar en particular es la mejor que existe en la actualidad.

## **1.5 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar bajo algunos estándares inalámbricos dados por la IEEE, el criterio y conocimiento para el análisis, e investigación de un óptimo y confiable enlace punto a punto de transmisión de datos inalámbrico con la norma IEEE 802.11.

### **1.5.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Investigar y estudiar el estándar IEEE 802.11a desde que apareció en 1995 hasta la actualidad, logrando comprender sus evoluciones y funcionamiento.
2. Diseñar un modelo de enlace inalámbrico que no sea vulnerable a factores externos de adversidad y que conecte 2 puntos fijos con frecuencia de operación de 5.8 GHz.
3. Analizar los permisos para operar el espectro electromagnético en el país, configuraciones permitidas por la Supertel (Súper Intendencia de Telecomunicaciones), bases legales etc.
4. Proponer una implementación con un diseño inalámbrico entre la Facultad Técnica con la Hacienda Limoncito.

### **1.6 MARCO TEÓRICO**

Un enlace inalámbrico de datos, como se dijo no utiliza cables, este se da por medio de la propagación de ondas electromagnéticas las cuales llevan la información, estas se encuentran comunicándose entre sí por medio de un transmisor denominado de origen y un receptor que será destino, estos a su vez pueden tener la modalidad de ser transceptores, es decir transmisor y receptor simultáneamente.

Una red casera inalámbrica, donde se pueden “comunicar como mínimo 2 hosts o computadores con tarjeta de red, deberá utilizar para transmitir un dispositivo como un enrutador inalámbrico (router) como punto de acceso, también requiere el equipo de la estación base. El comportamiento de una red inalámbrica es idéntico al de una red que se encuentra cableada con respecto a compartir diferentes tipos de datos y recursos.

### **Wi-Fi.**

Los sistemas Wi-Fi son básicamente un estándar técnico para la transmisión de información a corta distancia por medio de señales de radio desarrollado por el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Las actualizaciones o "ediciones" que han sido aprobadas por la industria usan los términos 802.11a, 802.11b y 802.11g, para denotar las distintas versiones.

Estos sistemas nos permiten enviar un máximo de 11Mbps, por lo que se emplea cada vez con más frecuencia para montar redes locales con acceso a Internet (WLAN), ya sea en hogares con varias computadoras o en empresas. La más avanzada 802.11a alcanza los 54 Mbps

Para el diseño estudiaremos la norma y estándar dada por la IEEE 802.11a como así la 802.11g, ya que ambas operan a frecuencia de 5 GHz.

## **IEEE 802.11**

El protocolo IEEE 802.11 o WI-FI es un estándar de protocolo de comunicaciones del IEEE que define el uso de los dos niveles más bajos de la arquitectura OSI (capas física y de enlace de datos), especificando sus normas de funcionamiento en una WLAN. En general, los protocolos de la rama 802.x definen la tecnología de redes de área local.

Hoy en la actualidad la IEEE 802.11 a, b, d, e, f, g, h, i, j, m, n. están renovadas hay mayor interés en seguridad wireless (802.11i) y en la calidad (QoS) (802.11e) el mantenimiento de redes wireless (802.11m)

## **1.7 METODOLOGÍA**

La metodología para el desarrollo del proyecto consta de cuatro fases: definición de marco teórico, análisis de la situación actual, análisis de requerimientos y diseño asistido por computador.

### **1.7.1 FASE I: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

Para el análisis de la situación actual se tomará en cuenta el modelo de referencia OSI que permite identificar tres macro capas: capa física, lógica y aplicaciones. Para

desarrollar y analizar la capa física se tomará como referencia la arquitectura planteada por Linux, la misma que propone una arquitectura abierta permitiendo desarrollar el análisis previo al diseño de la red.

El análisis lógico se desarrollará en base a los siguientes parámetros: direccionamiento y enrutamiento, posteriormente se analizará las aplicaciones que contemplará los servicios que se encuentran disponibles en la red.

### **1.7.2 FASE II: ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS**

En esta fase se efectuará el análisis de los requerimientos para la implementación de una conexión punto a punto entre la facultad técnica y la hacienda limoncito de la Facultad Técnica de la Universidad Católica De Santiago De Guayaquil, se tomará en cuenta el tipo de usuarios que se tendrá potencialmente, se recopilará datos mediante MRTG cartografía y con la valiosa ayuda del software Radio Mobile actuales, se ejecutará el análisis del tipo de tráfico que utilizan y la capacidad de canal que es ocupada en promedio.

Se hará un análisis del área a cubrir en la cual se manejarán mapas que ayuden a identificar la topografía del terreno y determinar el número de equipos necesarios para que los usuarios tengan acceso al servicio de Internet. Se analizará el entorno para

verificar la cantidad de redes inalámbricas cercanas, número de canales usados, nivel de señal a ruido, seguridad implementada y modo de trabajo. En esta fase se obtendrán datos exactos para el diseño de la red inalámbrica para servir de Internet a este sector.

### **1.7.3 FASE III: DISEÑO**

En esta fase se ejecutará el diseño funcional de la conexión punto a punto en base a los requerimientos encontrados en la fase anterior. Este diseño contemplará los siguientes parámetros: red física y lógica, sistema de seguridad, posteriormente se describirá varios productos existentes en el mercado.

El diseño de la red física y lógica tomará como referencia los módulos de la arquitectura OSI, el sistema de seguridad y autenticación se basarán en los datos obtenidos en la fase II. Se debe recalcar, que la propuesta del diseño esta basadas en estándares para las actualmente vulnerables medidas de protección de los protocolos 802.11.

## **CAPITULO 2 ORGANIZACIONES Y ESTANDARES DE REDES INALAMBRICAS**

### **2.1 ORGANIZACIÓN WIFI ALLIANCE**

Entre las organizaciones principales se tiene a WIFI Alliance como asociación internacional sin fines de lucro creada para certificar la interoperabilidad de productos WLAN en base a la especificación IEEE 802.11.



**Fig.1 Logo de WiFi**

La FCC es una agencia gubernamental independiente de los EE.UU. y es responsable de regular las comunicaciones interestatales e internacionales por radio, televisión, teletipo, satélite y cable. Entonces este organismo internacional permite la regularización y el funcionamiento de equipos dispositivos de espectro de difusión en las bandas de frecuencias de: 902 MHz a 928 MHz, 2,4 GHz a 2,5 GHz, y 5,8 GHz a 5,9 GHz. Estas tres bandas de frecuencias se han asignado para varias aplicaciones industriales, científicas y médicas.

## **2.2 BANDAS ISM Y UNII**

### **1. ISM - Industrial Scientific Medical Bands.**

La FCC indica un intervalo de frecuencia para las WLAN en la industria, científica y médica, con licencias libres que se describen a continuación:

1. Banda ISM 900 MHz.- Este Rango de Frecuencias está definido desde los 902 MHz a 928 MHz, con un intervalo de +/- 13 MHz. Son usadas por los teléfonos o sistemas de cámaras inalámbricas. Los dispositivos que trabajan en esta frecuencia tienen un alto costo y su velocidad está limitada a 1 Mbps. Banda ISM 2,4 GHz.- Utilizada por los estándares 802.11, 802.11b, 802.11g. Este rango de frecuencias es usado para las comunicaciones en redes inalámbricas, tiene una variación de 100 MHz.
2. Banda ISM 5,8 GHz. – El estándar 802.11a utiliza este rango de frecuencia que está definido desde 5,725 GHz hasta 5,875 GHz.

### **2. UNII - Unlicensed National Information Infrastructure Bands**

Existen varias bandas en 5 GHz y tienen una separación de 100 MHz, son usadas en los dispositivos que operan con 802.11a. Las tres bandas existentes se las conoce como baja,

media y alta; tienen cuatro canales no sobrelapados OFDM, cada uno separado 5 MHz. La FCC indica que la banda baja debe usarse para interiores, la banda media puede ser usada en interiores u exteriores y la banda alta es usada en exteriores.

**A. Banda Baja.**- Se halla en el rango de frecuencias que está entre 5,15 GHz a 5,25 GHz, la FCC específica que tiene un máximo de potencia de salida de 50 mW, para 802.11a la IEEE específica que la potencia de salida de los dispositivos sea 40 mW, esto hace que los equipos sean usados para interiores.

**B. Banda Media.**- Se halla en el rango de frecuencias que va desde 5,25 GHz a 5,35 GHz, la FCC especifica una potencia máxima de salida de 250 mW. Para 802.11a la IEEE recomienda que la potencia de salida de los dispositivos sea de 200 mW, esto hace que los equipos sean usados para interiores o exteriores. Es utilizada frecuentemente para enlazar edificios en espacios cerrados.

**C. Banda Alta.**- Comprende el rango de frecuencias que está entre 5,725 GHz a 5,825 GHz y la FCC específica que tiene un máximo de potencia de salida de 1000 mW, para 802.11a la IEEE recomienda una potencia de salida 800 mW. Está reservada para enlaces exteriores.

### **2.3 ESTÁNDARES IEEE 802.11**

La tecnología principal utilizada actualmente para la construcción de redes inalámbricas de bajo costo es la familia de protocolos 802.11, también conocida como Wi-Fi. El hecho de que exista un estándar permite que los costos de los dispositivos disminuyan y puedan ser adquiridos por una mayor cantidad de personas existiendo interoperabilidad entre ellos.

El protocolo IEEE 802.11 es un estándar de comunicaciones del IEEE que define la capa física y de enlace para una transmisión inalámbrica. El estándar original fue publicado por el IEEE en 1997 y es conocido como IEEE 802.11-1997, dos años más tarde se actualizó dando lugar al IEEE 802.11. Las velocidades de transferencia permitidas son de 1 Mbps, 2 Mbps y trabajaban en la banda ISM a una frecuencia de 2,4 GHz.

Existen muchos protocolos en la familia 802.11 y no todos están relacionados específicamente con el de radio. Los tres estándares implementados actualmente en la mayoría de los equipos disponibles son:

### **2.3.1 IEEE 802.11b**

Ratificado por IEEE el 16 de septiembre de 1999, el protocolo de redes inalámbricas 802.11b, trabaja con frecuencias en el rango de 2.4 GHz. es decir; en la banda ISM, maneja distintas velocidades de transmisión: 1 Mbps, 2 Mbps, 5.5 Mbps y 11 Mbps.

Además implementa DRS (Dynamic Rate Shifting) para ajustar las velocidades según las condiciones del entorno, estos valores se consiguen debido al uso de la modulación CCK (Complementary Code Keying) que da una mayor eficiencia que la antigua modulación utilizada (código Barker). A esto se incorpora el uso de la técnica de espectro ensanchado DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum).

Los problemas que encuentra esta tecnología es el no soportar mecanismos de calidad de servicio y se halla en una franja de frecuencias muy utilizada por teléfonos inalámbricos o dispositivos Bluetooth. Como principales ventajas cabe destacar el bajo costo de la tecnología que ha impulsado una fuerte implantación, que trabaja en una banda de frecuencias de uso gratuito.

### **2.3.2 IEEE 802.11g**

El protocolo 802.11g es hoy un estándar de facto en la redes inalámbricas. Utilizado como una característica común en todas las laptops y muchos de los dispositivos de escritorio. Ocupa el mismo rango de frecuencias que 802.11b, pero con el esquema de modulación denominado Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). Tiene tasas de transmisión de 6 a 54 Mbps y mantiene compatibilidad con 802.11b gracias al soporte de las velocidades inferiores.

### **2.3.3 IEEE 802.11a.**

Ratificado por la IEEE el 16 de septiembre de 1999, este estándar OFDM tiene una tasa de transmisión máxima de 54 Mbps. Opera entre 5,725 GHz - 5,825 GHz y en una porción de la banda UNII entre 5,15 GHz – 5,35 GHz. Esto lo hace incompatible con 802.11b y 802.11g.

La multiplexión por división de frecuencia ortogonal (OFDM) es una técnica que divide un canal de comunicaciones en cierta cantidad de bandas de frecuencia que se encuentran separadas por el mismo espacio, usa 52 subportadoras que se encuentran separadas 312,5 KHz.

Los datos se envían por 48 portadoras simultáneamente, donde cada subportadora transporta una porción de los datos del usuario, cuatro de ellas se utilizan como pilotos y son ortogonales entre sí.

El tiempo para transmitir cada bit se incrementa en proporción a la cantidad de portadoras. Esto hace al sistema menos sensible a la interferencia multiruta, que es una fuente importante de distorsión.

**HiperLAN2:** Estándar que compite con IEEE 802.11a al soportar velocidades de hasta 54 Mbps en la banda de 5 GHz.

**HomeRF:** Estándar que compite con el IEEE 802.11b que soporta velocidades de hasta 10 Mbps en la banda de 2.4 GHz.

<b>Estándar</b>	<b>Velocidad máxima</b>	<b>Ancho de banda</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>802.11b</b>	11 Mbps	25 MHz	2.4 GHz
<b>802.11a</b>	54 Mbps	25 MHz	5.0 GHz
<b>802.11g</b>	54 - 108 Mbps	25 MHz	2.4 GHz
<b>HomeRF2</b>	10 Mbps	5 MHz	2.4 GHz
<b>HiperLAN2</b>	54 Mbps	25 MHz	5.0 GHz

**Tabla 2-1**

## 2.4 ARQUITECTURA DE REDES 802.11

Podemos diferenciar dos identificaciones de redes;

a) **Identificador De Conjunto De Servicios (SSID, Service Set Identifier).**- Es un código incluido en todos los paquetes de una red inalámbrica para identificarlos como parte de esa red, tiene una longitud de 2 a 32 caracteres alfanuméricos, todos los dispositivos inalámbricos que intentan comunicarse entre sí deben compartir el mismo SSID.

Este identificador puede servir para segmentar redes inalámbricas, es conocido comúnmente como el nombre de la red, es enviado siempre en las tramas: beacons, requerimiento y respuesta.

Existen algunas variantes principales del SSID, las redes ad-hoc, consisten en máquinas de clientes sin un punto de acceso y utilizan el BSSID (Basic Service Set Identifier), mientras las redes infraestructura incorporan un punto de acceso que usa el ESSID (E de extendido) como identificador. Un método básico para proteger una red inalámbrica es desactivar el broadcast del SSID, ya que para el cliente no aparecerá como una red en uso.

b) **Beacons.**- Son tramas cortas que se envían cada 100ms desde los puntos de acceso a las estaciones (modo infraestructura) o entre estaciones (modo ad-hoc), contienen la información necesaria para identificar las características de la red y poder conectar con el punto de acceso deseado.

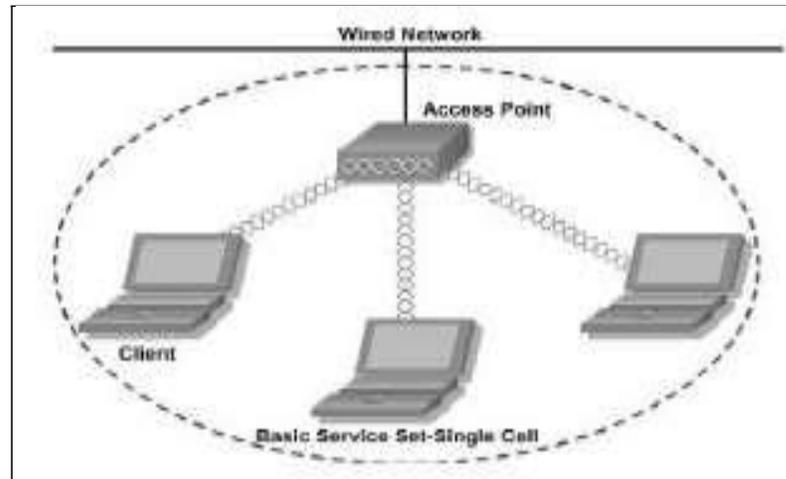
#### **2.4.1 TIPOS DE SERVICIO**

**Sistema De Distribución** (DS, Distribution System).- Es la interconexión de dos o más BSS (basic service set), permite incrementar la cobertura de la red, el ingreso al sistema de distribución se hace mediante puntos de acceso y puede ser cableado o inalámbrico, LAN o WAN.

La arquitectura WLAN IEEE 802.11 se especifica independientemente de las características físicas del DS (distribution system), el mismo habilita el soporte para dispositivos móviles proporcionando servicios necesarios para manipular el mapeo de dirección a destino y la integración sin fisuras de múltiples BSSs. Los datos se desplazan entre un BSS y el DS a través de un AP.

a) **Conjunto De Servicios Básicos** (BSS, Basic Service Set)- Es el bloque constructor básico de una LAN IEEE 802.11. La Figura 2. muestra un BSS con tres estaciones y un access point (AP) trabajando en modo infraestructura, el círculo representa área

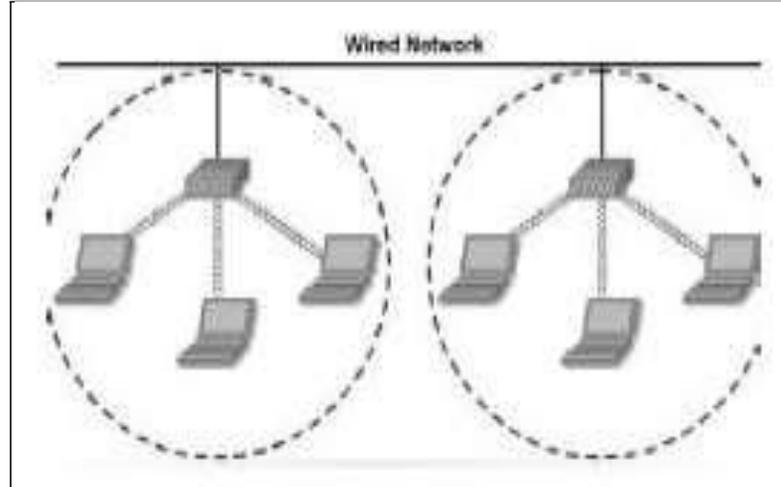
de radio frecuencia o celda, a medida que una estación se va alejando la velocidad de datos disminuye, cuando sale del área de cobertura ya no puede comunicarse con otros miembros. El Punto de acceso coordina la comunicación entre las estaciones.



**Fig. 2 BSS**

**b) Conjunto De Servicios Extendido (ESS, Extended Service Sets).**- Se define como dos o más BSSs conectados por medio de un DS común, como lo ilustra la Figura 3, permite la creación de una red inalámbrica de tamaño y complejidad arbitrarios, al igual que sucede con un BSS, todos los paquetes de un ESS deben atravesar uno de los puntos de acceso.

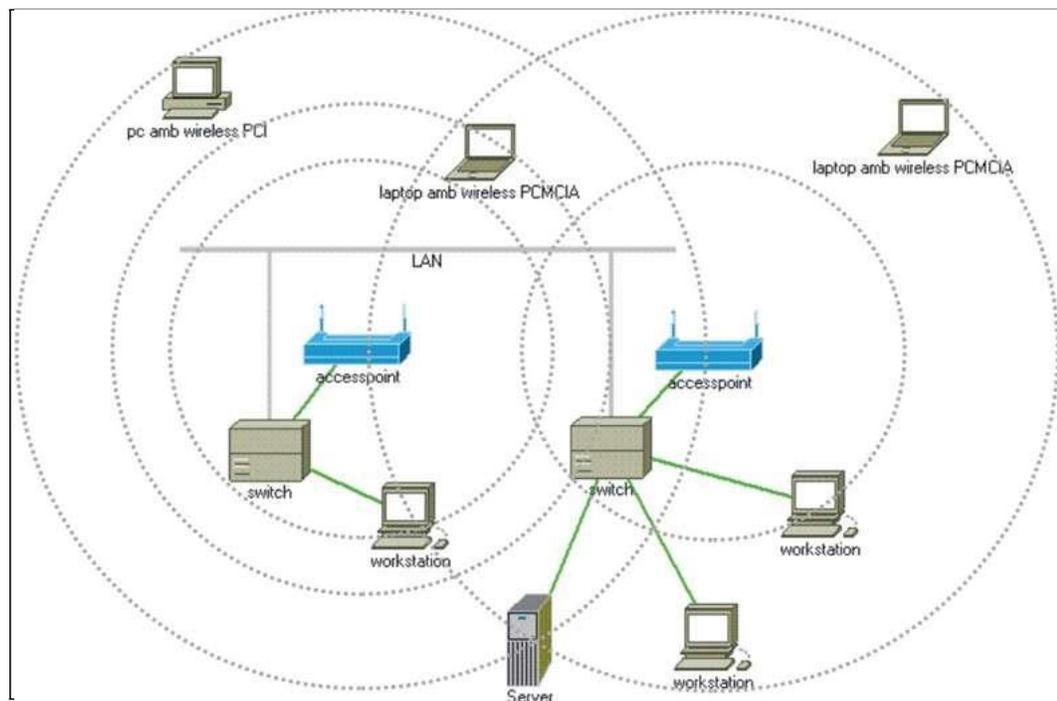
Las estaciones que se encuentran dentro de un ESS pueden comunicarse entre si y pueden desplazarse de un BSS a otro (dentro del mismo ESS), de manera transparente a LLC.



**Fig.3 ESS**

c) **Conjunto De Servicios Básicos Independiente (IBSS, Independen Basic Service Set).**- Es el tipo más básico de LAN IEEE 802.11, consiste en dos estaciones. En este modo de operación ellas se comunican directamente, ya que este tipo de LAN IEEE 802.11 se forma generalmente sin pre-planificar y se denominan redes ad hoc.

**Roaming.**- Es el proceso o capacidad de un cliente inalámbrico de desplazarse de una celda, o BSS, a otra, sin perder conectividad con la red. Los puntos de acceso se entregan el cliente entre si y son invisibles al mismo. El estándar IEEE 802.11 no define como debería llevarse a cabo el roaming, pero sí define los bloques de construcción básicos, que incluyen la búsqueda activa y pasiva y un proceso de reasociación. La reasociación con el AP debe tener lugar cuando una STA hace roaming de un AP a otro  
Autenticación y Asociación.



**Fig. 4 Roaming**

Para que una estación pueda unirse a un BSS debe elegir un AP y asociarse. El estándar 802.11 define servicios de distribución y son los siguientes:

**Reasociación.**- Permite a una estación asociada poder moverse entre diferentes puntos de acceso.

**Desasociación.**- Finaliza la asociación de una estación.

**Privacidad.**- Protege a los mensajes que son transmitidos para que estos no sean accedidos sino por la persona a la cual esta emitido.

## 2.5 AUTENTICACIÓN Y ASOCIACIÓN

La conexión a una red inalámbrica consiste en dos sub-procesos; estos siempre ocurren en el mismo orden y son llamadas autenticación y asociación.

**Autenticación:** mediante Open System (autenticación nula, o bien no requiere clave de acceso) y mediante Shared Key (utilizada para WEP). El primer paso para conectarse a una red inalámbrica es la autenticación, este es un proceso para comprobar la identidad de un adaptador en la red para aceptarlo o rechazarlo. El estándar 802.11 especifica dos formas de autenticación: el sistema abierto y el sistema basado en una clave compartida.

**Asociación:** mediante Open Network (red disponible para cualquier cliente mediante el broadcast del SSID) y mediante Closed Network (disponible sólo para aquellos clientes conocedores del SSID del Access Point). La asociación es un proceso por el cual el punto de acceso reserva recursos y sincroniza con una estación-cliente. Una vez que el adaptador de red se ha autenticado, tiene que asociarse al punto de acceso antes de poder transmitir tramas de datos. La asociación es importante para sincronizar a ambos elementos con información importante como por ejemplo las tasas de transmisión admitidas.

El adaptador inalámbrico inicia el proceso enviando una trama de solicitud que contiene elementos como el SSID y tasas de transferencia admitidas. El punto de acceso reserva memoria para ese cliente y le asigna un identificador. Una vez que el adaptador de red y el punto de acceso hayan completado el proceso de asociación pueden comenzar a transmitir tramas de datos entre ellos.

### **2.5.1 ESTADOS DE AUTENTICACIÓN Y ASOCIACIÓN**

**Desautenticado y desasociado**, en este estado el usuario está totalmente desconectado de la red e imposibilitado de pasar tramas para validarse ante el AP.

**Autenticado y desasociado**, en este segundo estado el cliente puede pasar al proceso de autenticación, pero no se halla asociado con el punto de acceso.

**Autenticado y asociado**, en este estado final el nodo se halla conectado totalmente a la red, el punto de acceso verifica en su tabla de asociación que el cliente se halle autenticado y asociado, para poder pasar tramas al punto de acceso.

### **2.5.2 MODOS DE AUTENTICACIÓN**

**Sistema Abierto** (Open System).- No posee un algoritmo de autenticación como tal. El punto de acceso responde a todas las peticiones de autenticación sin pedir ningún tipo de validación, se basa en la encriptación posterior que se va a hacer de los datos enviados a

través de la red inalámbrica. Aunque un cliente pueda validarse contra el punto de acceso, si no conoce las claves de encriptación de los datos no podrá enviar información.

Sin embargo, si el administrador de la red no configura encriptación WEP (por defecto esta desactivada), cualquier usuario puede utilizar la red inalámbrica sin necesidad de suministrar cualquier tipo de credencial.

**Clave compartida** (Shared Key Authentication). - Es el segundo método de autenticación definido en el estándar 802.11. Este mecanismo necesita que tanto clientes como puntos de acceso tengan configurada una clave WEP estática. Para evitar el envío de la clave WEP a través del medio inalámbrico se utiliza un mecanismo del tipo petición/respuesta.

En este caso el punto de acceso envía al cliente un texto aleatorio para que sea cifrado con la clave WEP, el mismo envía una respuesta, el punto de acceso descifra el mensaje con su clave y comprueba si coincide con el texto aleatorio original, si coinciden el cliente es validado, este tipo de validación requiere la configuración de una clave WEP estática y pre compartida entre los clientes y los puntos de acceso.

El problema conlleva, que ante el robo de uno de los portátiles es necesario que el administrador de la red se encargue de modificar manualmente la clave WEP de todos los clientes y de los puntos de acceso.

## **2.6 MODOS DE OPERACIÓN**

### **a) Modo Infraestructura**

Es conocido también como modo Punto de acceso o Infraestructura, es utilizado para crear un servicio de acceso tradicional. El dispositivo inalámbrico crea una red con un canal y un nombre específico (llamado SSID), para ofrecer sus servicios. En el modo maestro, las tarjetas inalámbricas administran todas las comunicaciones de la red (autenticación de clientes inalámbricos, control de acceso al canal y repetición de paquetes).

### **b) Modo Ad-hoc**

Permite la creación de una red multipunto a multipunto, donde no hay un único nodo maestro o AP. En el modo ad-hoc, cada tarjeta inalámbrica se comunica directamente con sus vecinas. Cada nodo debe estar dentro del alcance de los otros para comunicarse, concordar en un nombre y un canal de red.

En el modo monitor, las tarjetas inalámbricas no transmiten datos. Se utiliza para analizar problemas en un enlace inalámbrico o para observar el uso del espectro en el área local.

El modo monitor no es usado para las comunicaciones normales.

Cuando se implementa un enlace punto a punto o punto a multipunto, un radio opera en modo maestro, mientras que los otros operan en modo administrado. En una red mesh multipunto a multipunto, todos los radios operan en modo ad-hoc de manera que puedan comunicarse directamente.

## **2.7 TIPOS DE REDES**

### **Punto a Punto**

Este tipo de redes generalmente se usan para conectarse a Internet donde el acceso no está disponible de otra forma. Uno de los lados del enlace punto a punto estará conectado a Internet, mientras que el otro utiliza el enlace para acceder al mismo.

Los puntos que se deben interconectar deberán tener línea de vista para incrementar la confiabilidad del enlace, se puede alcanzar distancias mayores a los 10 Km. Para este tipo de enlaces se usan antenas direccionales tanto para el transmisor como para el receptor.

La FCC estipula que por cada 3 dBi en exceso de los 6 dBi de ganancia de la antena, la potencia del radiador debe ser reducido en 1db a partir de los 30 dBm iniciales. Ver la Fig. 5.

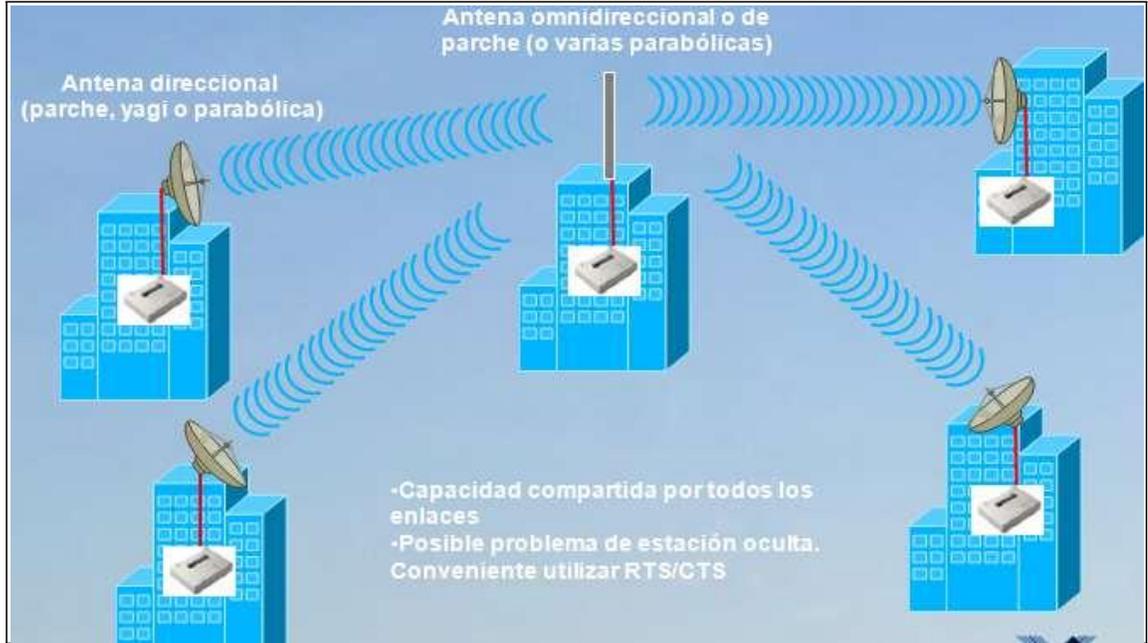


**Fig.5 Punto a Punto**

### **Punto a Multipunto**

Las redes punto a multipunto tiene varios nodos que se comunican con un nodo de acceso central. La FCC limita el EIRP a 4W tanto en las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz.

La limitación de potencia para el elemento radiador es 1 watt. Para explicar esto se toma el siguiente ejemplo, si un radio trasmisor de 1 w (+30 dBm) es conectado a una antena de 12dbi omnidireccional, la potencia total es sobre los 4 Watt. La FCC estipula que por cada 3dbi sobre los 6dbi de ganancia inicial de la antena, la potencia del radio debe reducirse 3db por debajo de la potencia inicial de 30 dBm. Ver fig. 6.



**Fig. 6 Configuración Punto-Multipunto**

Potencia en la antena (dbm)	Ganancia de la antena (dbi)	EIRP(dbm)	EIRP (watts)
30	6	36	4
27	9	36	4
24	12	36	4
21	15	36	4
18	18	36	4
15	21	36	4
12	24	36	4

**Tabla 1. Limitación de Potencia**

### **Multipunto a Multipunto**

Este tipo de redes se denominan también como una red ad-hoc o en malla (mesh). En una red multipunto a multipunto, no hay una autoridad central. Cada nodo de la red

transporta el tráfico de tantos otros como sea necesario y todos los nodos se comunican directamente entre sí. El beneficio de este diseño de red es que así ninguno de los nodos sea alcanzable desde el punto de acceso central, igual pueden comunicarse entre sí.

En una red mesh multipunto a multipunto, todos los radios operan en modo ad-hoc de manera que puedan comunicarse directamente. En este modo no hay una relación jerárquica entre maestro-cliente, los nodos pueden comunicarse directamente si están dentro del rango de su interfaz inalámbrica. La desventaja del modo ad-hoc es que los clientes no repiten el tráfico destinado a otros clientes, pero pueden hacerlo si se aplica el enrutamiento. Las redes malladas (mesh), tienen como estrategia que cada nodo actúe como un relevo para extender la cobertura de la red inalámbrica. Cuanto más nodos, mejor será la cobertura de radio y rango de la nube mallada.

Pero existe una desventaja en este tipo de redes debido a que si el dispositivo utiliza solamente una interfaz de radio, el ancho de banda disponible se ve reducido significativamente cada vez que el tráfico es repetido por los nodos intermedios en el camino desde un punto a otro. Además, existirá interferencia en la transmisión de esos nodos compartiendo el mismo canal.

Por lo tanto, las económicas redes malladas ad-hoc pueden suministrar muy buena cobertura de radio a una red inalámbrica comunitaria a expensas de la velocidad,

especialmente si la densidad de los nodos y la potencia de transmisión son altas. Si una red ad-hoc tiene pocos nodos que están funcionando simultáneamente, se encuentran estáticos y siempre tienen radio enlaces estables, es posible escribir a mano una tabla de enrutamiento individual para todos los nodos. Desafortunadamente, esas condiciones raramente se encuentran en el mundo real.

Los nodos pueden fallar, los dispositivos WiFi pueden desorientarse y la interferencia puede hacer que los radio enlaces estén inutilizados en cualquier momento. Además, conlleva mucho trabajo el actualizar varias tablas de enrutamiento a mano si se adiciona un nodo a la red, mediante el uso de protocolos que mantienen automáticamente las tablas de enrutamiento individuales de cada nodo involucrado. Los protocolos de enrutamiento más comunes en el mundo cableado (como el OSPF) no funcionan bien en este ambiente porque no están diseñados para tratar con enlaces perdidos o con topologías que cambian rápidamente.

## **2.8 PARAMETROS WIRELESS**

El método de acceso, tal como la modulación de radio y el ancho de banda disponible, es importante para determinar la eficiencia y la capacidad de un sistema de radio, Los factores que permiten optimizar la capacidad de comunicación dentro de una área geográfica y del espectro de ancho de banda, son considerados más importantes que la

forma de como son implementadas. Los diseñadores de sistemas únicamente pueden definir la utilización del espacio y del tiempo, y una aproximación de la eficiencia de la tecnología de transmisión por radio.

Los diseños de alta eficiencia han sido evitados en sistemas de radio y redes porque su utilización no es muy obvia en cuanto a rapidez y conveniencia. Uno de los aspectos más importantes de la eficiencia del tiempo es la asignación de frecuencia consolidada y el tráfico de cargas de usuarios no relacionados entre sí.

Por lo menos, el punto alto y el promedio de circulación de cada grupo deben de tener diferentes patrones; esto es muy difícil porque los canales incompatibles pueden ser vistos como viables, aunque su capacidad sea insuficiente para las necesidades máximas. Independientemente del rango, un conjunto de enlaces puede únicamente dar servicio a una fracción del área total.

Para una cobertura total del área, se debe de usar canales independientes, derivados por frecuencia, código o tiempo. No es fácil minimizar el número de canales independientes o conjunto de enlaces para una cobertura total. Mientras la distancia incrementa, se origina que la señal de radio disminuya, debido a la curvatura de la Tierra o a obstáculos físicos naturales existentes.

Este diseño es muy utilizado en interferencia limitada. Existe una trayectoria normal cuando en el nivel de transferencia, de estaciones simultáneamente activas, no prevén la transferencia actual de datos. Para este tipo de diseño, los siguientes factores son importantes:

- 1.- Es necesaria una relación señal-interferencia, para una comunicación correcta.
- 2.- Se requiere de un margen expresado en estadísticas para generar esta relación, aún en niveles de señal variables.
- 3.- La posición de las antenas que realizan la transmisión. La cual puede ser limitada por las estaciones y perfectamente controlada por puntos de acceso fijos.
- 4.- La función de la distancia para el nivel de la señal. Esta dada por el valor promedio de la señal, considerando las diferencias en la altura de la antena de la terminal y los impedimentos naturales en la trayectoria.

## **2.9 FACTOR DE REUSO**

El número del conjunto de canales requeridos es comúnmente llamado “Factor de Reuso” o “Valor N”, para el sistema de planos celulares. El sistema de planos celulares original, contempla 7 grupos de canales de comunicación y 21 grupos de canales de configuración basados en una estructura celular hexagonal (Un patrón de un hexágono

con 6 hexágonos alrededor, da el valor de 7, y un segundo anillo de 14 da el valor de 21.)

Estos valores fueron calculados asumiendo la Modulación de Indexamiento 2 FM, previendo un valor de captura de cerca de 12 dB y un margen de cerca de 6 dB. En los sistemas digitales el factor de Reuso es de 3 ó 4, ofreciendo menor captura y menor margen.

## **2.10 FACTOR DE DISTANCIA**

El promedio de inclinación de curva es reconocido por tener un exponente correspondiente a 35-40 dB/Decena para una extensión lejana y de propagación no óptica. Para distancias cortas el exponente es más cerca al espacio libre o 20 dB/Decena.

El aislamiento de estaciones simultáneamente activas con antenas omni-direccionales puede requerir factores de Reuso de 49 o más en espacio libre. La distancia de aislamiento trabaja muy bien con altos porcentajes de atenuación media. Dependiendo de lo disperso del ambiente, la distancia de aislamiento en sistemas pequeños resulta ser en algunos casos la interferencia inesperada y por lo tanto una menor cobertura.

## 2.11 PUNTOS DE ACCESO

La infraestructura de un punto de acceso es simple: “Guardar y Repetir”, son dispositivos que validan y retransmiten los mensajes recibidos. Estos dispositivos pueden colocarse en un punto en el cual puedan abarcar toda el área donde se encuentren las estaciones. Las características a considerar son:

- 1.- La antena del repetidor debe de estar a la altura del techo, esto producirá una mejor cobertura que si la antena estuviera a la altura de la mesa.
- 2.- La antena receptora debe de ser más compleja que la repetidora, así aunque la señal de la transmisión sea baja, ésta podrá ser recibida correctamente.

Un punto de acceso compartido es un repetidor, al cual se le agrega la capacidad de seleccionar diferentes puntos de acceso para la retransmisión (esto no es posible en un sistema de estación-a-estación, en el cual no se aprovecharía el espectro y la eficiencia de poder, de un sistema basado en puntos de acceso).

La diferencia entre el techo y la mesa para algunas de las antenas puede ser considerable cuando existe en esta trayectoria un obstáculo o una obstrucción. En dos antenas iguales, el rango de una antena alta es  $2x-4x$ , más que las antenas bajas, pero el nivel de interferencia es igual, por esto es posible proyectar un sistema basado en coberturas de

punto de acceso, ignorando estaciones que no tengan rutas de propagación bien definidas entre sí.

Los ángulos para que una antena de patrón vertical incremente su poder direccional de 1 a 6 están entre los  $0^\circ$  y los  $30^\circ$  bajo el nivel horizontal, y cuando el punto de acceso sea colocado en una esquina, su poder se podrá incrementar de 1 a 4 en su cobertura cuadrada.

El patrón horizontal se puede incrementar de 1 hasta 24 dependiendo del medio en que se propague la onda. En una estación, con antena no dirigida, el poder total de dirección no puede ser mucho mayor de 2 a 1 que en la de patrón vertical. Aparte de la distancia y la altura, el punto de acceso tiene una ventaja de hasta 10 dB en la recepción de transmisión de una estación sobre otra estación.

Estos 10 dB son considerados como una reducción en la transmisión de una estación, al momento de proyectar un sistema de estación a estación.

## **2.12 AISLAMIENTO EN SISTEMAS VECINOS**

Con un proyecto basado en Puntos de Acceso, la cobertura de cada punto de acceso es definible y puede ser instalado para que las paredes sean una ayuda en lugar de un obstáculo.

Las estaciones están recibiendo o transmitiendo activamente muy poco tiempo y una fracción de las estaciones asociadas, con un punto de acceso, están al final de una área de servicio; entonces el potencial de interferencia entre estaciones es mínimo comparado con las fallas en otros mecanismos de transmisión de gran escala. De lo anterior podemos definir que tendremos dos beneficios del punto de acceso:

- 1.- El tamaño del grupo de Reuso puede ser pequeño (4 es el valor usado, y 2 es el deseado).
- 2.- La operación asíncrona de grupos de Reuso contiguos puede ser poca pérdida, permitiendo así que el uso del tiempo de cada punto de acceso sea aprovechado totalmente.

Estos detalles incrementan materialmente el uso del tiempo.

## **2.13 MODULACION DE RADIO**

El espectro disponible es de 40 MHz, según el resultado de APPLE y 802.11, la frecuencia es “Desvanecida” cuando en una segunda o tercera trayectoria, es incrementada o decrementada la amplitud de la señal. La distribución de probabilidad de este tipo de “Desvanecimientos” se le denomina “rayleigh”. El desvanecimiento rayleigh

es el factor que reduce la eficiencia de uso del espectro con pocos canales de ancho de banda.

Si es usada la señal de espectro expandido, la cual es 1 bit/símbolo, la segunda o tercera trayectoria va a causar un “Desvanecimiento” si la diferencia de la trayectoria es más pequeña que la mitad del intervalo del símbolo. Por ejemplo, una señal a 10 Mbps, necesita de 0.1 mseg. de tiempo para propagar la señal a 30 mts. Diferencias en distancias mayores de 5 mts. Causan mayor interferencia entre símbolos que el causado por el “Desvanecimiento”.

Si el símbolo es dividido en 7 bits, el mecanismo ahora se aplicara a una séptima parte de 30 mts. (O sea, 4 metros aproximadamente), una distancia en la trayectoria mayor de 4 metros no es causa de “Desvanecimiento” o de interferencia entre símbolos.

El promedio de bits debe de ser constante, en el espacio localizado en el espectro y el tipo de modulación seleccionado. El uso de ciertos símbolos codificados, proporcionaran una mejor resolución a la longitud de trayectoria.

Un espectro expandido de 1 símbolo y cada símbolo con una longitud de 7, 11,13,...31 bits, permitirá una velocidad de 10 a 2 Mbps promedio. El código ortogonal permite incrementar los bits por símbolo, si son 8 códigos ortogonales en 31 partes y si se

incluye la polaridad, entonces es posible enviar 4 partes por símbolo para incrementar la utilización del espacio.

La canalización y señalización son métodos que compiten entre sí por el uso de códigos en el espacio del espectro expandido. Algunos de los códigos de espacio pueden ser usados por la canalización para eliminar problemas de superposición.

El espectro expandido puede proporcionar una reducción del “Desvanecimiento” rayleigh, y una disminución en la interferencia a la señal para que el mensaje sea transmitido satisfactoriamente, lo cual significa que se reduce el factor de Reuso.

Para una comunicación directa entre estaciones de un grupo, cuando no existe la infraestructura, una frecuencia común debe ser alternada para transmisión y recepción

La activación, en la transmisión no controlada, por grupos independientes dentro de una área con infraestructura definida, puede reducir substancialmente la capacidad de organización del sistema.

## **2.14 EFICIENCIA DEL TIEMPO**

El tiempo es importante para poder maximizar el servicio, al momento de diseñar la frecuencia en el espacio. El uso del tiempo está determinado por los protocolos y por los métodos de acceso que regularmente usen los canales de transmisión de la estación.

Las características del método de acceso para que se considere que tiene un tiempo eficiente, pueden estar limitadas por los métodos que sean utilizados.

Algunas de estas características son:

1.- Después de completar una transmisión/ recepción, la comunicación debe de estar disponible para su siguiente uso.

a.- No debe de haber tiempos fijos entre la transmisión-recepción.

b.- Rellenar la longitud de un mensaje para complementar el espacio, es desperdiciarlo.

2.- La densidad de distribución geográfica y tiempo irregular de la demanda del tráfico deben ser conocidas.

a.- Un factor de Reuso, es más eficiente por un uso secuencial del tiempo que por una división geográfica del área.

b.- Para la comunicación en un área, se debe de considerar la posibilidad de que en áreas cercanas existan otras comunicaciones.

c.- La dirección del tráfico desde y hacia la estación no es igual, el uso de un canal simple de transmisión y recepción da una ventaja en el uso del tiempo.

3.- Para tráfico abundante, se debe de tener una “lista de espera” en la que se manejen por prioridades: “El primero en llegar, es el primero en salir”, además de poder modificar las prioridades.

4.- Establecer funciones para usar todo el ancho de banda del canal de comunicación, para que el tiempo que exista entre el comienzo de la transmisión y la disponibilidad de la comunicación, sea lo más corto posible.

5.- El uso de un “saludo inicial” minimiza tiempos perdidos, en el caso de que los paquetes transferidos no lleguen correctamente; cuando los paquetes traen consigo una descripción del servicio que requieren, hacen posible que se mejore su organización.

6.- La conexión para mensajes debe ser más eficiente que la selección, particularmente al primer intento, sin embargo la selección puede ser eficiente en un segundo intento cuando la lista de las estaciones a seleccionar sea corta.

Para transacciones de tipo asíncrona, es deseable completar la transacción inicial antes de comenzar la siguiente. Deben completarse en el menor tiempo posible. El tiempo requerido para una transacción de gran tamaño es un parámetro importante para el sistema, que afecta la capacidad del administrador de control para encontrar tiempos reservados con retardos, como hay un tiempo fijo permitido para la propagación, el siguiente paso debe comenzar cuando termina el actual.

El control del tráfico de datos en ambas direcciones, se realiza en el administrador de control.

## **2.15 LIMITE DE LA LONGITUD DEL PAQUETE Y SU TIEMPO**

Cuando el paquete es más pequeño, la proporción del tiempo usado al acceder el canal, es mayor, aunque la carga pueda ser pequeña para algunas funciones, la transferencia y descarga de archivos son mejor administrados cuando la longitud del paquete es de buen tamaño, para minimizar el tiempo de transferencia.

En paquetes grandes, se incrementa la posibilidad de que el paquete tenga errores en el envío, en sistemas de radio el tamaño aproximado ideal es de 512 octetos o menos, un paquete con una longitud de 100-600 octetos puede permitir la salida oportuna de respuestas y datagramas prioritarios junto con los datagramas normales.

Es necesario de proveer formas para dividir los paquetes en segmentos dentro de las redes inalámbricas. Para un protocolo propuesto, el promedio de mensajes transferidos, es mayor para el tráfico originado por el “saludo inicial”, que el originado por el punto de acceso. En este promedio se incluyen campos de dirección de red y otras funciones que son agregadas por el protocolo usado y no por el sistema de radio.

El mensaje más largo permitido para superar un retardo de acceso de 1.8 mseg. y un factor de Reuso de 4, utiliza menos de 600 mseg. Un mensaje de 600 octetos utiliza 400 mseg. a una velocidad de transmisión de 12 Mbps, los 200 mseg. que sobran pueden ser usados para solicitar requerimiento pendientes.

El tiempo marcado para un grupo de Reuso de 4 puede ser de 2,400 mseg. Este tiempo total puede ser uniforme, entre grupos comunes y juntos, con 4 puntos de acceso. Sin embargo la repartición del tiempo entre ellos será según la demanda.

Las computadoras necesitan varios anchos de banda dependiendo del servicio a utilizar, transmisiones de datos, de vídeo y voz de voz, etc. La opción es, si:

1.- El medio físico puede multiplexar de tal manera que un paquete sea un conjunto de servicios.

2.- El tiempo y prioridad es reservado para el paquete y los paquetes relacionados con el, la parte alta de la capa MAC es multiplexada.

La capacidad de compartir el tiempo de estos dos tipos de servicios ha incrementado la ventaja de optimizar la frecuencia en el espacio y los requerimientos para armar un sistema.

## CAPITULO 3 OTRAS TECNOLOGIAS INALAMBRICAS

### 3.1 REDES DE ÁREA PERSONAL INALAMBRICAS

Se puede empezar definiendo redes de datos inalámbricas y esto quiere decir un conjunto de computadores u otros dispositivos, comunicados entre si mediante soluciones que no requieren cables, según la tabla 3-1 se aprecia algunos tipos de redes de datos inalámbricas.

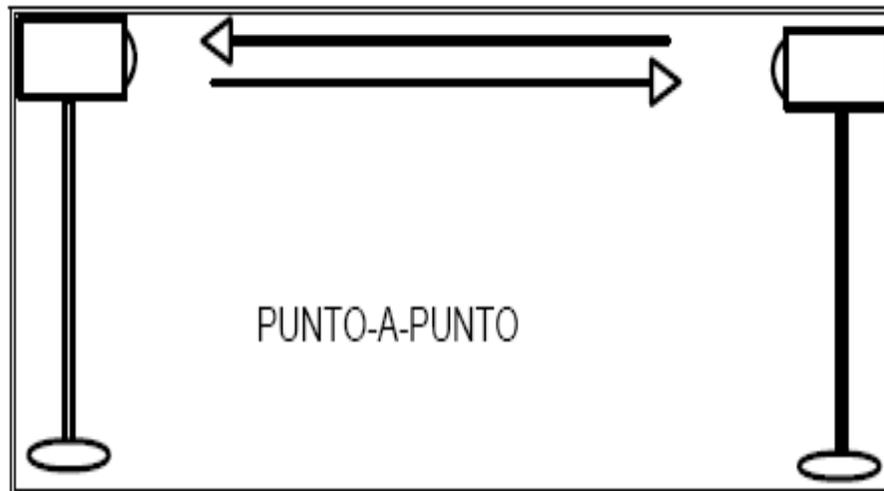
WPAN ( Wireless Personal Area Network)	<10 m	Bluetooth IrDA 802.15
WLAN(Wireless Local Area Network)	Edificio, campus	WI-FI HomeRF HiperLAN
WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)	ciudad	LMDS MMDS WIMAX
Globales	países	Celular 1G,2G,2,5G,3 G (UMTS )

**Tabla 3-1 Tipos de redes inalámbricas**

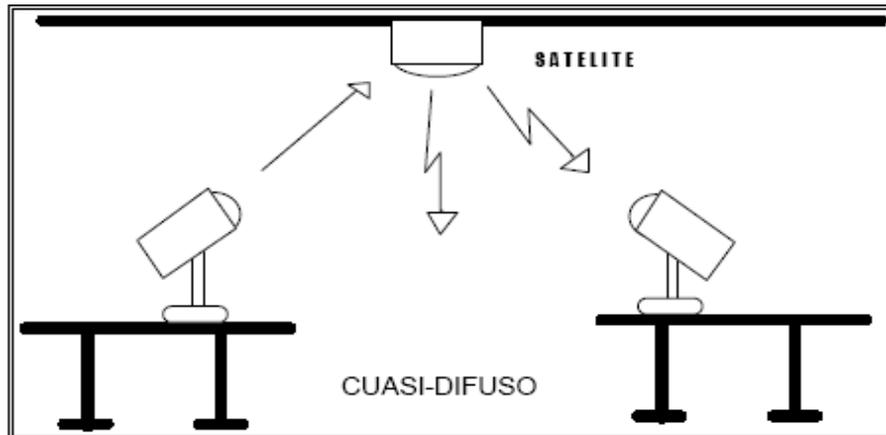
WPAN (Wireless Personal Área Network) Redes de área personal inalámbricas pueden ser las siguientes:

### 3.2 INFRARROJO

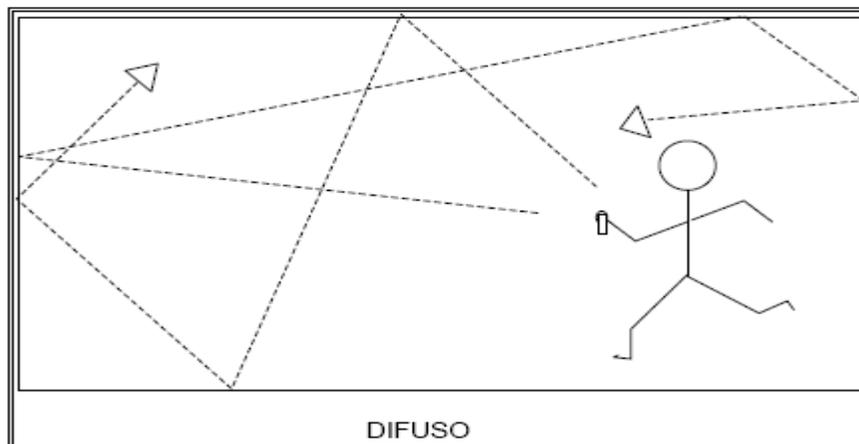
Forman parte de las redes personales, la red IRDA (Infra-Red Data), es la de menor alcance, las estaciones con tecnología infrarroja pueden usar tres modos diferentes de radiación para intercambiar la energía Óptica entre transmisores-receptores: punto-a-punto cuasi-difuso y difuso (Fig. 3.1, 3.2, 3.3).



**Fig.3-1 Enlace punto a punto**



**Fig. 3-2 Enlace cuasi-difuso**



**Fig. 3-3 Enlace difuso**

En el modo punto-a-punto los patrones de radiación del emisor y del receptor deben de estar lo más cerca posible, para que su alineación sea correcta. Como resultado, el modo punto-a-punto requiere una línea-de-vista entre las dos estaciones a comunicarse. Este modo es usado para la implementación de redes Inalámbricas Infrarrojas Token-Ring. El

“Ring” físico es construido por el enlace inalámbrico individual punto-a-punto conectado a cada estación.

A diferencia del modo punto-a-punto, el modo cuasi-difuso y difuso son de emisión radial, o sea que cuando una estación emite una señal Óptica, ésta puede ser recibida por todas las estaciones al mismo tiempo en la célula. En el modo cuasi-difuso las estaciones se comunican entre sí, por medio de superficies reflejantes. No es necesaria la línea-de-vista entre dos estaciones, pero si deben de estarlo con la superficie de reflexión. Además es recomendable que las estaciones estén cerca de la superficie de reflexión, esta puede ser pasiva ó activa.

En el modo difuso, el poder de salida de la señal óptica de una estación, debe ser suficiente para llenar completamente el total del cuarto, mediante múltiples reflexiones, en paredes y obstáculos del cuarto. Por lo tanto la línea-de-vista no es necesaria y la estación se puede orientar hacia cualquier lado. El modo difuso es el más flexible, en términos de localización y posición de la estación, sin embargo esta flexibilidad esta a costa de excesivas emisiones ópticas.

Por otro lado la transmisión punto-a-punto es el que menor poder óptico consume, pero no debe de haber obstáculos entre las dos estaciones. En la topología de Ethernet se puede usar el enlace punto-a-punto, pero el retardo producido por el acceso al punto

óptico de cada estación es muy representativo en el rendimiento de la red. Es más recomendable y más fácil de implementar el modo de radiación cuasi-difuso.

La tecnología infrarroja está disponible para soportar el ancho de banda de Ethernet, ambas reflexiones son soportadas (por satélites y reflexiones pasivas).

### **3.3 REDES BLUETOOTH**

Bluetooth implementa Ondas de Radiofrecuencia de corto alcance, ya que es una de los medios de transmisión sencillos, económicos, fáciles de configurar y administrar.

Los enlaces inalámbricos de más de dos dispositivos implementando la tecnología Bluetooth ocupando el mismo medio físico se llaman Piconet, cada dispositivo tiene una dirección única de 48 Bits, cuando un dispositivo busca o detecta a otro se le llama "Inquiry", para regular él trafica en el canal, uno de los dispositivos se le llama "Maestro" quien es el que establece la conexión y todos los demás dispositivos son llamados "Esclavos".

Este tipo de red opera en un ambiente Multiusuario, y esto es transparente para ellos, como todo enlace es codificado y protegido contra interferencia y pérdida de enlace, esta

tecnología se puede considerar como una Red Inalámbrica de corto alcance y muy segura.

El protocolo que se implementa es el de Bandbase el cual provee canales de transmisión para voz y datos, siendo capaz de soportar un enlace asíncrono de datos y hasta tres enlaces de voz asíncronos, esto se combina con las técnicas de circuitos y paquetes para asegurar que lleguen en orden.

### **3.3.1 CARACTERÍSTICAS**

Algunas de las características de la tecnología Bluetooth son las siguientes:

- Frecuencia: 2.4 GHz
- Tecnología: Spread Spectrum
- Potencia de transmisión: 1mW para 10 metros, 100mW para 100 metros
- Canales máximos de voz: 3 por piconet
- Canales máximos de datos: 7 por piconet
- Velocidad de datos: 721 Kbps por piconet
- Cobertura: 10 Metros
- No. De dispositivos: 8 por piconet y hasta 10 piconet en 10 metros
- Alimentación: 2.7 Voltios
- Consumo de potencia: Desde 30 $\mu$ A a 30 $\mu$ A transmitiendo

- Interferencia: Es mínima, se implementan saltos rápidos en frecuencia de 1600 veces / segundo.

Por otro lado, como se puede observar las características que componen esta nueva tecnología son muy pocas en comparación a las necesidades que actualmente tenemos en la implementación de Redes Inalámbricas, ya que se requiere mayor velocidad de transmisión, un número mayor de computadoras conectadas, así como, una cobertura más amplia para empresas grandes, una de las implementaciones para esta tecnología sería establecer redes LAN, conexiones pequeñas, funcionales y sencillas donde no sea tan importante el ancho de banda.

Más sin embargo, bluetooth ha estado cambiando de versión ampliando sus características para mejorar su desempeño en cuanto a velocidad de transmisión de datos, cobertura, número de dispositivos, entre otros.

### **3.3.2 FUNCIONAMIENTO**

La tecnología Bluetooth funciona de la siguiente manera, cada dispositivo debe de contar con un microchip "CMOS" (transceiver) que transmite y recibe la señal estimada en frecuencia de 2.4 GHz, cada dispositivo como mencionamos anteriormente contiene 48 Bits, trabaja dentro de un rango de 10 metros teniendo una velocidad de transmisión

de datos de hasta 3Mbps en la versión 2 de Bluetooth con una frecuencia de saltos que permite comunicarse en áreas donde existe mucha interferencia electromagnética utilizando esquemas de encriptación y verificación.

Cuando se lleva a cabo la transmisión de datos se hace mediante el siguiente esquema, un paquete puede ser intercambiado en cada slot entre la unidad maestro y uno de los esclavos, cada paquete contiene 72 Bits de código de acceso que corresponde a la identidad del maestro, la cabecera del paquete contiene 54 Bits contiene información de control como la dirección de control de acceso al medio (MAC), tipo de paquete, bits de control de flujo, el esquema ARQ (Repetición de Transmisión Automática) y un error de cabecera, posteriormente de 0 a 2745 Bits se encuentran los datos los cuales pueden cubrir uno, tres o cinco slots.

### **3.3.3 VENTAJAS**

Una de las ventajas que encontramos con la Tecnología de Bluetooth es al momento de comunicar dispositivos en un corto alcance, de forma sencilla y cómoda, y sin la necesidad de estar lidiando con los tipos de cables. Gracias a que es un estándar se puede implementar en todo el mundo porque ya está establecido por la IEEE 802.15.1, no teniendo la necesidad de utilizar controladores para los diferentes dispositivos previstos dentro de la tecnología Bluetooth.

Además cuenta con un bajo consumo de frecuencia, mínimo costo, seguridad integrada, fiabilidad y facilidad de uso, dentro de todo el mundo se implemento la misma frecuencia de 2.4GHz la cual pertenece a una de las Bandas de Radio Industrial Científica y Médica (ISM) la cual no requiere Licencia y puede ser utilizada con facilidad.

Otra de las ventajas que tiene es que está disponible en todo una variedad de dispositivos, desde teléfonos móviles hasta instrumentos médicos, automóviles, redes inalámbricas, etc. Su bajo consumo de energía, pequeño tamaño, y el escaso costo de los microchips permite emplear esta tecnología, no se necesita una infraestructura, es sencilla de instalar y configurar, en la conexión no se utilizan cables.

#### **3.3.4 SEGURIDAD**

Dentro de este tipo de tecnologías Bluetooth, existen diferentes formas en las que se puede romper la integridad de la seguridad de transferencia de datos dentro de la telefonía celular, una de ellas es el Bluejacking, el cual consiste en el envío anónimo de tarjetas de visita tecnológica inalámbrica, por lo general contienen un mensaje de tono ligero o coqueto, en lugar del nombre y el número de teléfono del remitente.

Otra de las formas es llamada Bluebugging, el cual consiste en que personas con los conocimientos necesarios obtienen el acceso a las funciones del teléfono móvil a través de la tecnología inalámbrica Bluetooth esto sin que el usuario sea notificado o alertado de ello.

El Bluesnarfing, es el procedimiento mediante el cual los piratas informáticos acceden a los datos almacenados en un teléfono con tecnología bluetooth sin alertar al usuario que se ha establecido una conexión con su dispositivo. El Gusano Cabir, es un software conocido también como "malware", este se instala en el teléfono y se auto envía a otros dispositivos mediante Bluetooth, para que el usuario se vea afectado debe de aceptar el gusano e instalarlo de forma manual dentro del dispositivo.

### **3.3.5 APLICACIONES.**

La principal de las aplicaciones es que se dejen de utilizar cables para conectar dispositivos entre sí, que la forma de configuración sea más sencilla, que los datos sean más seguros, las múltiples aplicaciones con la tecnología Bluetooth sean más amigables para el usuario final, así como, se tiene la característica de que al momento de entrar en un dominio se reconozca un dispositivo nuevo, de la misma forma sea utilizado dentro de la Red Inalámbrica compartiendo una conexión de Internet, también existen múltiples aplicaciones que se pueden implementar con esta nueva tecnología.



**Fig. 3.4 Red Bluetooth**

### **3.4 WIFI**

Estas son utilizadas para transmitir la información en espacios que pueden variar desde una misma ciudad o hasta varias ciudades circunvecinas, mayormente utilizadas en lugares como oficinas, aeropuertos, hoteles, hospitales etc.



**Fig. 3-5 Red WiFi**

### **3.4.1 EL USO DEL ESPACIO, DEL TIEMPO Y DEL ESPECTRO**

El método de acceso, tal como la modulación de radio y el ancho de banda disponible, es importante para determinar la eficiencia y la capacidad de un sistema de radio. Uno de los aspectos más importantes de la eficiencia del tiempo es la asignación de frecuencia consolidada y el tráfico de cargas de usuarios no relacionados entre sí.

Independientemente del rango, un conjunto de enlaces puede únicamente dar servicio a una fracción del área total. Para una cobertura total del área, se debe de usar canales independientes, derivados por frecuencia, código o tiempo.

No es fácil minimizar el número de canales independientes o conjunto de enlaces para una cobertura total.

Para el diseño de una red inalámbrica, los siguientes factores son importantes:

- Es necesaria una relación señal-interferencia, para una comunicación correcta.
- Se requiere de un margen expresado en estadísticas para generar esta relación, aún en niveles de señal variables.
- La posición de las antenas que realizan la transmisión. La cual puede ser limitada por las estaciones y perfectamente controlada por puntos de acceso fijos.
- La función de la distancia para el nivel de la señal. Esta dada por el valor promedio de la señal, considerando las diferencias en la altura de la antena de las terminales y los impedimentos naturales en la trayectoria.

### **3.4.2 COMPORTAMIENTO DE RF**

El comportamiento para las Redes Inalámbricas de Radio Frecuencia, la FCC ha permitido la operación sin licencia de dispositivos que utilizan 1 Watt de energía o menos, en tres bandas de frecuencia: 902 a 928 MHz, 2,400 a 2,483.5 MHz y 5,725 a 5,850 MHz.

Para minimizar la interferencia, las regulaciones de FCC estipulan que una técnica de señal de transmisión llamada spread-spectrum modulation, la cual tiene potencia de transmisión máxima de 1 Watt deberá ser utilizada en la banda ISM. Esta técnica ha sido utilizada en aplicaciones militares. La idea es tomar una señal de banda convencional y distribuir su energía en un dominio más amplio de frecuencia. Así, la densidad promedio de energía es menor en el espectro equivalente de la señal original.

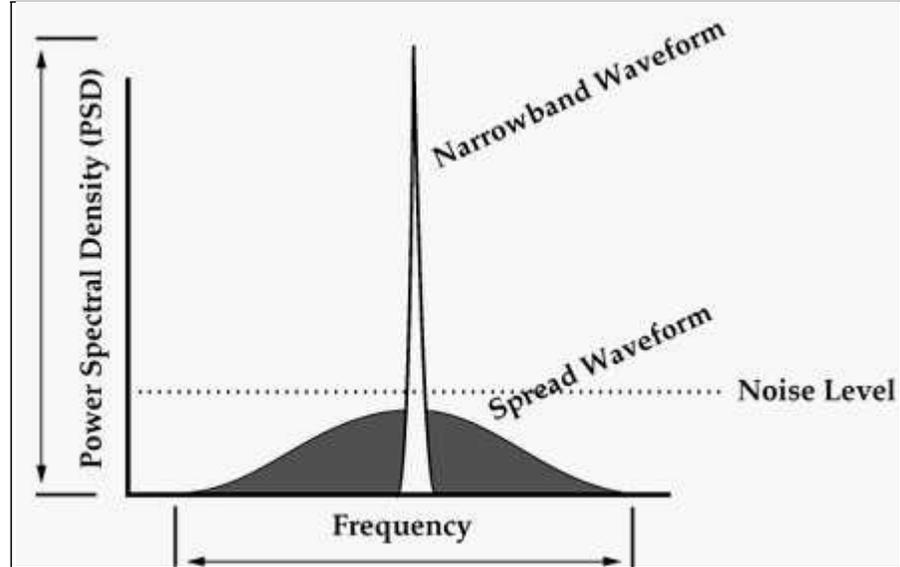
En aplicaciones militares el objetivo es reducir la densidad de energía abajo del nivel de ruido ambiental de tal manera que la señal no sea detectable.

Existen dos técnicas para distribuir la señal convencional en un espectro de propagación equivalente:

**1. La secuencia directa.-** 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.

La secuencia directa es, quizás, uno de los sistemas espectro disperso más ampliamente conocidos y es relativamente sencillo de implementar. Un portador de banda estrecha es modulado por una secuencia de código. La fase del portador de la señal transmitida es cambiada de forma brusca de acuerdo a esta secuencia de código, la cual es generada por un generador pseudoaleatorio que tiene una longitud fija.

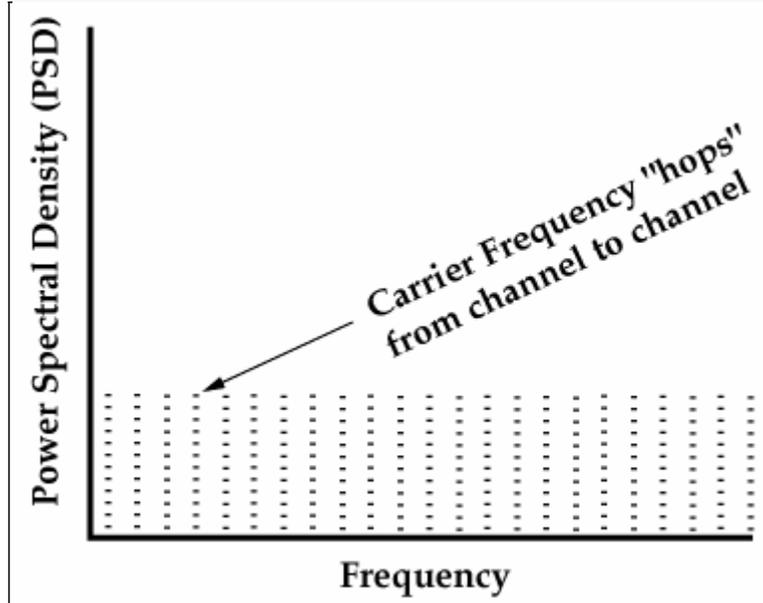
Después de un número determinado de bits, el código se repite a sí mismo de manera exacta. La velocidad de la secuencia de código se llama radio de “chipping”, medido en chips por segundo (cps). Para secuencia directa, la cantidad de propagación depende de la proporción de chips por bit de información. En el receptor, la información se recupera multiplicando la señal con una réplica de la secuencia de código generada localmente.



**Fig. 3-6 Comparación de una señal de banda estrecha con una señal Spread Spectrum de Secuencia Directa. La señal de banda estrecha es suprimida cuando se transmite en spread spectrum.**

2. **El salto de frecuencia.-** Este método es una técnica en la cual los dispositivos receptores y emisores se mueven sincrónicamente en un patrón determinado de una frecuencia a otra, brincando ambos al mismo tiempo y en la misma frecuencia predeterminada. Como en el método de secuencia directa, los datos deben ser reconstruidos en base del patrón de salto de frecuencia.

Este método es viable para las redes inalámbricas, pero la asignación actual de las bandas ISM no es adecuada, debido a la competencia con otros dispositivos, como por ejemplo las bandas de 2.4 y 5.8 MHz. que son utilizadas por hornos de Microondas.



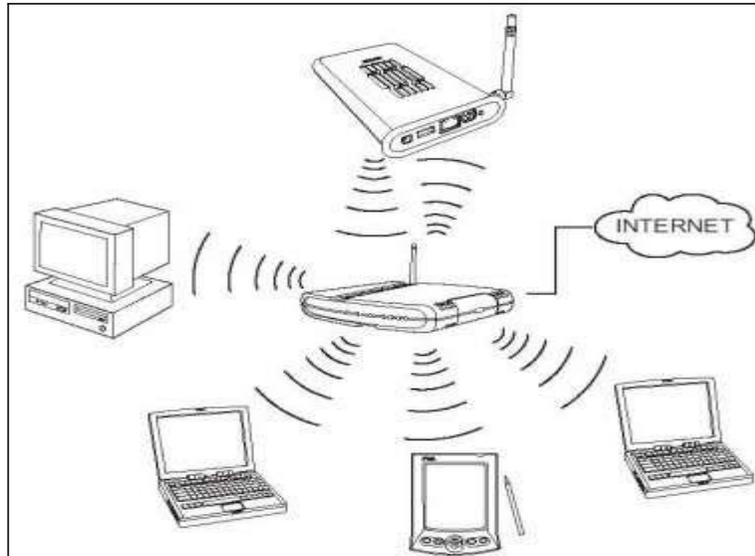
**Fig. 3-7 Un ejemplo de señal Spread Spectrum con Salto de Frecuencia.**

### **3.5 NOMENCLATURA Y DISEÑO DE COMPONENTES**

Para hacernos una idea general del estándar con el que estamos trabajando debemos conocer cuáles son sus componentes:

1. La estación (STA): Es el elemento básico de una red inalámbrica, pues la red se construye para que éstas puedan transmitirse información. Puede tratarse de una computadora de escritorio, una portátil o incluso una PDA.

2. El Punto de Acceso (AP – Acces Point): Las tramas de una red 802.11 deben ser convertidas a otro tipo antes de enviarlas al resto del mundo. El AP se encarga de la conexión de las interfaces inalámbricas y cableadas y actúa como puente entre ellas, entre muchas otras funciones.



**Fig. 3-8 Acces Point**

3. El medio Inalámbrico: Para que las tramas que las estaciones envían lleguen hasta el AP o a otra estación se necesita un sustrato material, que en este caso es el medio inalámbrico. En un inicio, en el estándar se definieron dos sustratos de radiofrecuencia (RF) y uno de infrarrojos (IR) aunque éste último nunca ha sido muy utilizado.

4. El Sistema de Distribución: Cuando hay que conectar diversos Puntos de Acceso, o unir nuestra red a otra más extensa se requiere un sistema de distribución. El estándar 802.11 no define como debe implementarse este sistema de distribución, por lo que las alternativas varían en función del uso que vaya a tener la red.



**Fig. 3-9 Componentes de una WLAN**

Tampoco se especifica en el estándar como deben implementarse cada uno de los demás componentes, así corresponde a los fabricantes tomar esas decisiones. Lo que si especifica el estándar son los servicios que debe prestar esta tecnología, por lo que las opciones de los fabricantes, si bien no están limitadas, deben permitir que su producto cumpla dichos servicios. Esta es otra manera de definir una tecnología.

### 3.5.1 LOS SERVICIOS

Estos pueden dividirse en dos categorías, Station Service (SS) y Distribution System Service (DSS):

1. **SS:** Servicios comunes a todas las estaciones de la red, incluyendo AP.

Estos servicios tienen que estar incluidos en cualquier dispositivo que ofrezca compatibilidad con 802.1

Entrega de tramas MSDU (MAC Service Data Unit): Para la entrega de tramas al destinatario.

Privacidad: Su función es incrementar la seguridad al hacer las tramas más privadas encriptándolas. Con esto se pretende acercar la seguridad de Wi-Fi a la de Ethernet.

Autenticación: Permite controlar la identidad del que accede a la LAN antes de que éste establezca conexión. Lo utilizan todas las estaciones para identificarse.

Desautenticación: Nos permite dar por finalizado un servicio de autenticación anterior.

2. **DSS:** Los servicios que son parte de un DS. Se accede a ellos mediante un AP

Distribución: Servicio utilizado en la entrega de tramas para determinar la dirección destino en redes tipo infraestructura.

Integración: Para la entrega de tramas a una red LAN 802 que esté fuera de nuestra red inalámbrica.

Asociación: Se utiliza para establece cual es el AP que hace de gateway hacia una estación móvil determinada.

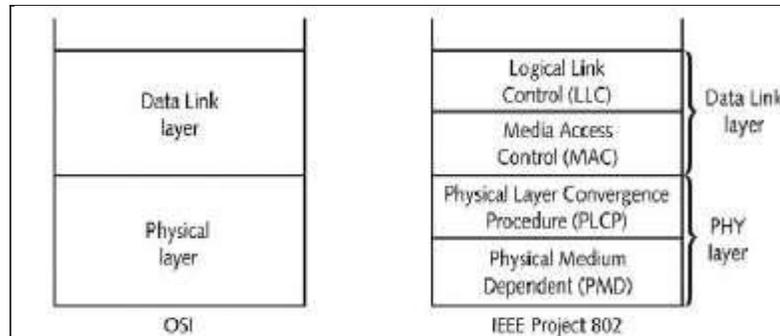
Reasociación: Se utiliza para cambiar el AP elegido en el servicio anterior.

Desasociación: Elimina una estación inalámbrica de la red.

Aunque ya se ha hecho alguna mención al respecto, si queremos entender mejor la arquitectura de red del 802.11 debemos conocer el modelo de la OSI (Open Systems Interconnection), que describe una arquitectura normalizada de protocolos al descomponer las distintas funciones en siete niveles jerarquizados.

Para la comprensión del estándar 802.11 nos interesan principalmente los dos niveles más bajos, el nivel físico y el de enlace. Estos dos niveles se corresponden de forma aproximada con los niveles PHY y MAC que describe el estándar. El nivel físico se

ocupa de todo lo que son temas eléctricos y de ondas radioeléctricas, mientras que el de enlace se encarga de que el nivel físico sea seguro, así como de proporcionar herramientas para iniciar, mantener y terminar el enlace. Ver fig. 3-10



**Fig. 3-10 Comparación de capas OSI-IEEE 802.11**

A continuación se van a describir con más detalle los niveles PHY y MAC del estándar.

### **3.5.2 EL NIVEL PHY**

El nivel físico es el encargado de conectar la capa MAC con el medio físico (en este caso inalámbrico) por donde se transmiten las señales. Sus principales funciones son:

1. Dar información a la capa MAC sobre la ocupación del medio, es decir, si hay alguna señal en la misma frecuencia en la que queremos transmitir.
2. Transmitir las tramas al medio utilizando las distintas opciones de modulación.

### 3. Intercambiar las tramas con la capa MAC.

En el estándar 802.11 de 1997 se describen tres tipos de transmisión en el nivel físico, tal y como ya se apuntó cuando hablamos del medio inalámbrico:

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum): Mediante una multiplexación por código de pseudoruido se ensancha la señal para minimizar el ruido y las interferencias. Se han definido dos tipos de modulación para esta técnica, la DPBPSK (Diferential Binary Phase Shift Keying) y la DQPSK (Diferential Quadrature Phase Shift Keying) que proporcionan una velocidad de transferencia de 1 y 2Mbps respectivamente.

En el caso particular del 802.11b se ha aumentado esta velocidad hasta 11Mbps.

FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum): Consiste en transmitir una parte de la información en una frecuencia determinada durante un cierto intervalo de tiempo.

Pasado este tiempo se cambia de frecuencia y se sigue transmitiendo en la nueva. El orden de los saltos viene determinado por una secuencia pseudoaleatoria. Se utiliza en la zona de 2.4GHz y proporciona 79 canales de 1MHz de ancho. La modulación que el estándar 802.11 define para este caso es la FSK (Frequency Shift Keying) a una de 1,2 o 11 Mbps

IR (InfraRed): Se utilizan ondas en frecuencias de infrarrojos para la transmisión de la información utilizando velocidades de 1 o 2 Mbps. Es importante destacar que ni la transmisión mediante infrarrojos ni la basada en FHSS tuvieron mucha aceptación.

Tanto así, que solamente ha habido dispositivos inalámbricos basados en DSSS y no en las otras dos tecnologías.

Como se ha mencionado anteriormente, el nivel físico para el 802.11b se divide en dos capas independientes, el PMD (Physical Media Dependent) y el PLCP (Physical Layer Convergence Procedure):

1. PMD: Esta es la capa que se encarga realmente de la transmisión y recepción de las señales y impulsos radioeléctricos. Determina el canal y hace de convertidor de señales a secuencias binarias. También se encarga de lo que el 802.11 denomina CCA (Clear Channel Assessment) es decir, tomar la decisión de si el canal está ocupado o libre. El tipo de tramas que se transmiten hacia el nivel superior se denominan PPDU (PLCP Protocol Data Unit) y la PMD se encarga de ofrecer las funcionalidades para su recepción y transmisión.
2. PLCP: Esta capa facilita la tarea al nivel MAC al independizar la capa más baja, operada por la PMD, de éste y simplificar los procesos asociados. De igual modo que

en PMD, PLCP se encarga de procesar y transformar las tramas para que los niveles superiores e inferiores puedan trabajar con ellas. Hacia el nivel MAC las tramas deben de ser MPDU (MAC Protocol Data Unit), así que PLCP se encarga de transformar estas en PPDU.

### **3.5.3 EL NIVEL MAC**

La especificación precisa del nivel MAC es uno de los pilares del estándar del IEEE802.11. El medio inalámbrico provoca infinidad de problemas desconocidos en las redes Ethernet cableadas, en especial cuando el número de clientes para un mismo punto de acceso empieza a aumentar o cuando el número de redes inalámbricas que se solapan en un mismo espacio es alto.

Por estas y muchas otras razones, la capa MAC debe estar bien definida. Prácticamente es la clave del 802.11. En ella se definen la relación y conexión de las red cableadas con las inalámbricas, el funcionamiento de las tramas, controla la transmisión de los datos de los usuarios hacia el aire etc.

### **3.5.4 RETOS PARA LA MAC**

Para hacer la exposición más dinámica vamos a ver primero cuales son algunos de los problemas y retos con los que nos enfrentamos, y como se solucionan en la definición de la capa MAC del estándar.

La calidad del radioenlace: En un enlace radio no podemos asumir que la trama que hemos enviado es recibida por el destinatario, entre muchas otras cosas, porque las frecuencias que se utilizan habitualmente no tienen licencia alguna, lo cual implica la inevitable presencia de ruido e interferencias.

También por la misma física de la propagación de las ondas, el efecto multipath puede llevar a una estación a perder la recepción de la señal.

Por tanto se hace necesaria la presencia de tramas que confirmen la recepción positiva de los datos enviados. Esto es poco común en este tipo de protocolos. Todas y cada una de las tramas enviadas tienen que ser reconocidas.

Si no lo son se considera que han sido perdidas y se procede a reenviar la trama en cuestión. Este aspecto que en condiciones normales tiene una solución relativamente

fácil, en nuestra aplicación del estándar a largas distancias planteará otro problema que deberá ser tenido en cuenta en aras de un buen funcionamiento de la red.

El problema del nodo oculto: Como los límites de las redes inalámbricas son mucho menos definidos que los de las redes cableadas, puede ocurrir que una estación no esté dentro del alcance de otra, de manera que no se pueden comunicar. Decimos que estas dos estaciones o nodos están ocultos.

Esto en si no plantea un problema directo, pero el asunto se complica si tenemos en cuenta que puede existir un tercer nodo que si tenga acceso y conexión a los otros dos.

Así, los nodos 1 y 3 están ocultos, mientras que el nodo 2 puede comunicarse con ambos.

En ese caso podría ocurrir que las estaciones 1 y 3 transmitieran simultáneamente hacia la estación 2, y ésta sería incapaz de recibir correctamente la información. Este tipo de colisiones son difíciles de detectar, pues los receptores/transmisores inalámbricos suelen ser half-duplex.

Para evitar esto el 802.11 implementa un sistema de Request to Send (RTS) y su respuesta Clear to Send (CTS). Así un nodo puede asegurarse que otro está listo para recibir tramas.

### **3.5.5 EL ACCESO AL MEDIO POR CSMA/CA**

CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Acces/Collission Avoidance) es el protocolo escogido por el estándar 802.11 para minimizar las probabilidades de colisión de tramas de distintas estaciones que pretenden transmitir simultáneamente.

Aquí se va a presentar de forma resumida el funcionamiento general de este protocolo en el contexto de una red inalámbrica.

El instante más crítico y en el que se pueden producir más colisiones es justamente cuando el canal queda libre y las estaciones lo detectan. Entonces, todas aquellas que estuvieran esperando para transmitir trataran de hacerlo. Es por eso que se requiere la introducción de un tiempo aleatorio después de la primera detección del canal libre antes de transmitir.

El canal es escuchado durante todo el tiempo y cuando se detecta que este ha quedado desocupado la estación esperará un tiempo DIFS. Entonces la estación vuelve a

comprobar si el canal sigue disponible la estación espera otro tiempo adicional denominado ventana de contención (CW) que tiene por valor un múltiplo aleatorio de la duración de Aslot Time.

Si durante el transcurso de esta CW se detecta una trama en el medio, es decir, que éste ha sido ocupado, se para el conteo de esta CW y se espera a que el canal vuelva a quedar libre. Entonces se espera un nuevo DIFS más lo que restaba de la CW. Cuando termina este intervalo se transmite la trama.

Dependiendo del tipo de trama y a quien iba dirigida, el emisor queda a la espera de la confirmación de la recepción en destino de la trama. Las tramas con un destinatario determinado deben confirmarse, mientras las que son de broadcast no lo hacen.

Así, el receptor de la trama confirma la corrección de errores, espera un SIFS (ya que la trama de confirmación tiene mayor prioridad) y contesta con un ACK.

### **3.5.6 ESTRUCTURA DE LAS TRAMAS**

Para poder dar respuesta a los problemas y retos que se le plantean al 802.11 la capa MAC tuvo que adoptar una serie de medidas un tanto particulares, como por ejemplo la adopción de cuatro campos para las direcciones.

A continuación en la figura 2.5 se muestra la estructura de las tramas con las que trabaja el 802.11. Los campos se transmiten de izquierda a derecha y los bits más significativos aparecen al final.

El campo de Frame Control, contiene toda la información necesaria de control a nivel MAC, como por ejemplo de protocolo, bits de reintento, señalización de fragmentos... El campo de Duration/ID tiene 3 usos distintos: Duración (NAV), tramas CPF y de encuesta de tramas PF, aunque su función principal es informar de la duración de la trama.



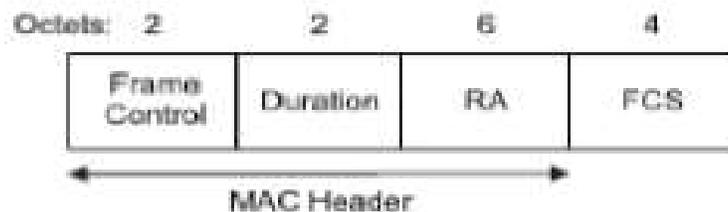
**Fig. 3-11 Estructura de una trama**

Los distintos campos de Direcciones también se utilizan de distinta manera dependiendo de la trama de la que se trate. Identifican tanto el origen como el destino, y también la estación emisora y la receptora.

El siguiente campo, Sequence Control, de 16 bits se utiliza para la desfragmentación y la eliminación de tramas duplicadas. El campo Frame Body o campo de Datos tiene longitud variable y contiene datos.

Finalmente encontramos el campo FCS (Frame Check Sequence) que permite a las estaciones verificar la integridad de la trama recibida. Igualmente podemos ver la estructura de la trama ACK en la figura que sirve para confirmar la recepción de una trama como las anteriores.

Consta de cuatro campos, Frame Control, Duration, RA (que contiene la dirección de la estación emisora) y finalmente el FCS. Su duración es de 14 bytes.



**Fig. 3-12 Estructura de una trama ACK**

PCF (Point Coordination Function)

Como se ha dicho anteriormente, existen dos modos distintos de acceder al medio. Hasta ahora se ha explicado el modo DCF que es el principal.

Todo lo que ya se ha explicado es también válido para el modo PCF, pero este presenta algunas particularidades PCF proporciona servicios libres de contienda. Unas estaciones especiales llamadas PC (Point Coordinators) aseguran que el canal sea otorgado sin contienda. Estas estaciones están ubicadas en el mismo Punto de Acceso (AP), por tanto este tipo de servicio solo está disponible en redes tipo infraestructura.

Para ganar prioridad sobre los servicios normales basados en contienda, PCF permite a las estaciones transmitir después de un intervalo de tiempo más corto, pero éstas solo pueden hacerlo si el PC se lo permite.

El periodo libre de contienda no se proporciona durante todo el tiempo, sino que se alternan periodos de los dos tipos. Son los PCs los que se encargan de alternar dichos periodos y servicios.

Al principio del periodo libre de contienda el AP transmite una trama Beacon, que una de las informaciones que contiene es la duración máxima de este periodo, CFPMaxDuration. Todas las estaciones que reciben este Beacon configuran su NAV (Network Allocation Vector) a esta duración máxima para evitar la utilización del DCF.

Además, como medida adicional de seguridad la separación entre las tramas en una comunicación PCF es menor que en una DCF (menor que SIFS) de manera que ninguna estación que esté trabajando en DCF pueda acceder al medio.

Después de ganar el medio, el AP crea una lista con las estaciones que quieren transmitir, quienes tienen que solicitarlo mediante una trama particular y demostrar que pueden mantener comunicación con el AP. El AP irla concediendo permiso para transmitir a una u otra.

### **3.6 APLICACION DEL 802.11B A LARGAS DISTANCIAS**

El estándar 802.11 fue diseñado para dar cobertura a redes WLAN, lo que significa que el área que cubren estas redes suele ser de decenas o como mucho centenas de metros.

Pero para el caso de las redes de comunicaciones en zonas rurales esta cobertura no es suficiente. Los puestos de salud suelen estar separados por varios kilómetros de distancia, por eso hay que tener en cuenta varios factores para poder utilizar esta tecnología en dicho entorno.

En el caso de enlace a limoncito hay que tener en cuenta que estamos tratando con distancias bastante largas, el hecho de implementar enlaces largos hace que surjan

problemas en varios niveles. Para tratar de ilustrar como se adapta el estándar 802.11b a estos problemas los vamos a enmarcar en relación a las especificaciones de Wi-Fi y sus niveles PHY y MAC.

### **3.6.1 PROBLEMAS Y PARTICULARIDADES**

Para entender cómo afectan las largas distancia al funcionamiento del 802.11 en relación a la capa física debemos tener en cuenta aspectos de radiofrecuencia y propagación de ondas en el espacio. Esto es lo que crea ciertas dificultades y aspectos que hay que tener en cuenta a la hora de diseñar la red. Por eso, lo primero es hacer un repaso de los aspectos más relevantes de la propagación de ondas y ver que modificaciones o limitaciones nos impone esto para el uso del estándar.

### **3.6.2 LA POTENCIA**

El problema más obvio que se nos plantea es el de la potencia recibida por las distintas estaciones, o más concretamente, como se transporta la señal hasta puntos alejados a kilómetros de distancia. La distancia entre un punto y otro es tan grande que la señal se atenúa, de manera que hay que hacer algo para que el nivel de recepción sea el suficiente (es decir, igual o mayor a la sensibilidad del equipo receptor)

El nivel de potencia recibido se puede calcular de la siguiente forma:

$$PR_x = PT_x + GT_x - LcTx - LcRx - L_p + GR_x$$

Donde  $PR_x$  es la potencia recibida,  $PT_x$  es la potencia transmitida,  $GT_x$  la ganancia del transmisor,  $LcTx$  y  $LcRx$  las pérdidas debidas a el cableado del transmisor y receptor,  $L_p$  las pérdidas de propagación y  $GR_x$  es la ganancia del receptor.

Un punto clave es como se calculan las pérdidas de propagación. Para ello existen varios modelos dependiendo de factores como el terreno, la distancia media, si es un entorno urbano, rural, boscoso etc.

En el caso general de propagación en espacio libre, la expresión para el cálculo de las perdidas es la siguiente:

$$L_p \text{ (dB)} = 92,45 + 20\log f \text{ (GHz)} + 20\log d \text{ (Km)}$$

Y si nos encontramos en el rango de frecuencias del ISM 2.4GHz, se puede particularizar de la forma que vemos a continuación:

$$L_p \text{ (dB)} = 100 + 20\log d \text{ (Km)}$$

Una condición indispensable para la utilización de esta expresión, es la existencia de línea de vista (LoS, Line of Sight). Esto no solamente se refiera a la posibilidad de poder “ver” el otro emplazamiento des del primero, además requiere que las primera zona de Fresnel esté despejada en un 60 por ciento.

También supone que no hay efecto de propagación multicamino, cosa que en nuestro entorno podría ser más o menos cierta, aunque nunca estaremos del todo seguros, debido a la presencia en algunos sectores de edificaciones de cemento, tejados de calamina, otras torres y antenas etc.

Estas expresiones dan unos resultados aproximados, que además son muy dependientes de las condiciones climáticas y geográficas de la zona. De manera que la precisión de estas predicciones no siempre es la adecuada. Para mejorar estas predicciones existen otros modelos más precisos, adecuados para situaciones más acotadas.

Modelo de Egli: Nos predice las pérdidas en un enlace punto a punto con línea de vista entre los dos emplazamientos. Nos permite calcular estas pérdidas en un terreno irregular, sin embargo no funciona bien en el caso que haya vegetación entre los dos puntos.

Por tanto, dado el terreno en el que trabajamos (selva) este modelo no puede utilizarse.

La formulación matemática de las pérdidas es la que vemos a continuación.

$$L_p = G_B G_M [h_B h_M/d^2]^2 [40/f]^2$$

Modelo de terreno de la ITU: También predice las pérdidas pero su particularidad es que lo hace en función de la altura de los obstáculos que se encuentren dentro de la primera zona de Fresnel. Por eso, es adecuado para trabajar en entornos urbanos con presencia de edificios y demás obstáculos, así como en todo tipo de terrenos. Sin embargo no da buenos resultados cuando hay muchas irregularidades en el terreno.

Este modelo no se ha utilizado en el diseño de las redes implementadas por el GTR, por lo que quizás sería interesante realizar algunos cálculos para ver si se adecúa a las medidas reales obtenidas en los distintos proyectos realizados.

### **3.6.3 MODELO LONGLEY-RICE**

Este modelo ha sido adoptado como estándar por la FCC, cosa que hace que haya multitud de implementaciones comerciales basadas en él. Incluye la mayoría de los modos de propagación más relevantes, difracción en puntas, atenuación atmosférica, modos de propagación troposférica, precipitación, difracción en terrenos irregulares,

polarización. Este modelo fue diseñado para frecuencias de 20MHz a 40GHz, y para extensiones de terreno en el rango de 1 a 2000Km.

Por todo ´esto, el modelo de Longley-Rice es el elegido para trabajar. Un factor de decisión importante es la existencia de un software de cálculo de enlaces llamado RadioMobile, que facilita la simulación y el diseño de la red. Este software utiliza el modelo de L-R.

#### **3.6.4 MODELO TIREM (TERRAIN INTEGRATED ROUGH EARTH MODEL)**

Otro de los modelos más utilizados. También tiene en cuenta multitud de factores como el clima, las irregularidades, la difracción, propagación troposférica.

La falta de un software comercial de distribución gratuita hace que utilicemos el modelo de L-R y el software en él basado, RadioMobile.

De todos modos, des de un punto de vista teórico, sería interesante un estudio comparativo de las predicciones de ambos modelos, en relación con los resultados obtenidos en distintos escenarios.

Una vez tenemos todo esto en cuenta, podemos calcular el nivel de potencia transmitida/recibida necesario para que el enlace funcione. Entonces es el momento de ver si el nivel calculado se adecúa a la normativa nacional sobre emisiones de radio, que es uno de los factores que pueden limitar el alcance del 802.11. La FCC impone una restricción de 30dBm de potencia transmitida con una antena de 6dB PIRE en la banda de 2.4GHz. Además, por cada 3dBi más de ganancia de nuestra antena la potencia se debe reducir en 1dBm.

### **3.6.5 LA VELOCIDAD**

El uso de Wi-Fi a largas distancias también tiene repercusiones sobre las velocidades de transmisión que pueden utilizarse. El 802.11b hay cuatro velocidades disponibles: 1, 2, 5.5 y 11Mbps. La información se envía modulada y codificada y para mantener una ver (Bit Error Rate) lo suficientemente baja hace falta tener un cierto nivel de potencia en recepción. Como ya hemos visto que la potencia está legalmente limitada, en los enlaces más largos no existe la posibilidad de mantener la potencia recibida lo bastante por encima de la sensibilidad del receptor como para trabajar con velocidades altas.

Además, la disminución de la velocidad repercute directamente en un aumento de la zona de cobertura. De manera, que en nuestro caso la prioridad es conseguir un compromiso entre un enlace estable y de calidad, con una velocidad aceptable. Sin

embargo se preferirá siempre optar por una velocidad más baja, para asegurar el funcionamiento de la red en caso de imprevistos (fenómenos meteorológicos, crecimiento vegetación) y degradación del estado de la red (desalineamiento de antenas) que seguro que van a aparecer con el tiempo.

De esta manera, la velocidad del enlace va a estar configurada de antemano a un valor fijo que no va a ser ya cambiado.

### **3.6 ELEGIR UN PUNTO DE ACCESO**

En las WLAN, los emisores-receptores, se les denomina Puntos de Acceso (AP) y se conectan a la red fija mediante un cableado estándar. El AP recibe y envía la información entre la red inalámbrica y la fija. Un único AP soporta a un pequeño grupo de usuarios con un rango de irradiación de entre 30 y 300 metros. Su antena se suele instalar en el techo de la oficina para ofrecer una mayor cobertura.

Existen dos categorías de punto de acceso:

Punto de accesos profesionales diseñados para compañías las cuales requieren de un buen cubrimiento para varios usuarios, gracias a esto su costo es más elevado ya que en su constitución se les imprime mucha más seguridad y muy buen acople con los sistemas

implementados en ordenadores de los diferentes usuarios. Las marcas destacadas son CISCO, 3COM, y Nokia.

Puntos de accesos económicos su finalidad es brindarle servicios a las pequeñas empresas y hogares. La diferencia con el anterior es que este puede colapsar en una solicitud de una gran cantidad de usuario, con respecto a velocidad. Las marcas destacadas INTEL, D-LINK y LINK SKY.

Por otro lado, es habitual que los puntos de acceso se utilicen también como pasarela de conexión con otras redes un ejemplo de esto es Internet. Desde este punto de vista, es importante que se tenga en cuenta dos cosas: la primera es que nos fijaremos en las características de router del punto de acceso: DHCP, NAT o propiedades de FIREWALL son características que nos ayudarán en la configuración y manejo de las comunicaciones con Internet o con otras redes.

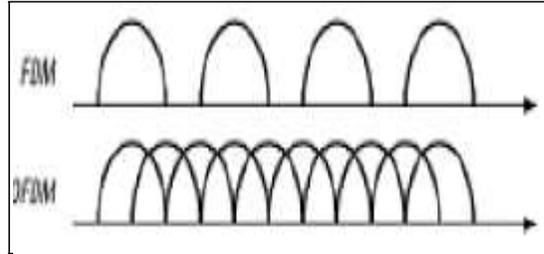
Las redes corporativas utilizan el protocolo TCP/IP; no obstante, hay que tener en cuenta que en el mercado existen otros protocolos como SPX/IPX, NetBIOS, LANtastic, etc. Por tanto conviene comprobar que el punto de acceso que se va a comprar sea compatible con el protocolo de red cableada con el que se va a conectar.

Ahora, los equipos Wi-fi tienen la ventaja de la garantía de interoperar sin problemas de acuerdo con la norma IEEE 802.11b. Sin embargo, existe cierta incompatibilidad en relación con los puntos de acceso. La incompatibilidad aparece a la hora de mantener en servicio una comunicación cuando un usuario pasa del área de cobertura de un punto de acceso al de otro a eso se le llama roaming.

### **3.7 OFDM (ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING)**

Es una técnica de transmisión que data del año 1970, en aquel momento la utilización de la misma era poco viable debido a que esta requiere grandes capacidades de procesamiento de señal, y la tecnología disponible para su implementación era demasiado costosa. Actualmente aplicaciones como DSL, WLAN y TV Broadcasting han puesto su mirada en OFDM gracias a su eficiencia espectral y a su resistencia contra los desvanecimientos por multitrayecto. La alta capacidad de procesamiento de los circuitos integrados actuales (VLSI) y su bajo costo hacen posible la implementación de esta técnica en forma eficiente y económica.

La figura 3-13 proporciona una idea de la cantidad de portadoras que se envían en un determinado ancho de banda usando FDM y OFDM, observe como usando OFDM la cantidad aumenta considerablemente.



**Fig. 3-13 Señales OFDM y FDM en el dominio de la frecuencia**

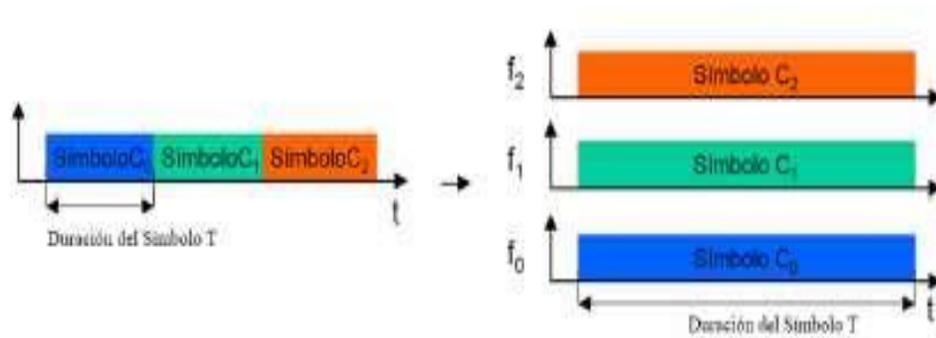
OFDM se basa en dividir el canal de comunicaciones en el dominio de la frecuencia en varios canales más pequeños, en cada uno de estos se transmite una subportadora. Cada una de las  $N$  subportadoras que se transmiten en los  $N$  subcanales deben ser ortogonales entre sí, de esta manera se permite el solapamiento de las mismas sin que esto cause interferencia alguna.

La información que se envía es multiplexada en las subportadoras y se transmite entonces en forma paralela, ahora en vez de enviar un portadora que utilice todo el ancho de banda disponible, se envían varias subportadoras con un ancho de banda  $N$  veces menor. Esta técnica permite un mejor aprovechamiento del ancho de banda del canal gracias a que las subportadoras se pueden solapar, evitando así las bandas de guarda.

OFDM es un esquema de modulación en el cual los símbolos son transmitidos en paralelo empleando un número considerable de subportadoras ortogonales, un bloque de

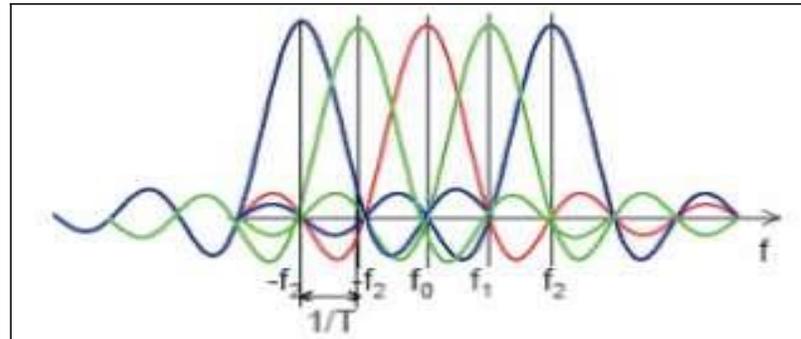
N símbolos que son transmitidos serialmente en  $T_s$  segundos cada uno, se convierten en un bloque de N símbolos en paralelo que se transmiten en  $T = N \cdot T_s$  segundos cada uno (ver figura 3.14). Los símbolos tienen entonces una duración N veces mayor permitiendo así reducir la interferencia intersímbolo (en inglés Inter Symbol Interference -ISI-), esto se debe a que al tener símbolos más grandes el porcentaje de éste afectado por un símbolo adyacente es menor.

A cada uno de los símbolos le corresponde modular una de las N subportadoras, es decir si tenemos N símbolos debemos tener N subportadoras, cada una de las subportadoras debe estar separada  $1/T$  Hz, esto garantiza la ortogonalidad de las mismas.



**Fig. 3-14 Transformación de los símbolos**

En la figura 3-15 se observan las subportadoras en el dominio de la frecuencia, nótese como los máximos de cada subportadora coinciden con los ceros de las otras, esto se debe al carácter ortogonal de las mismas y permite el solapamiento de sus espectros sin que esto provoque interferencias.



**Fig. 3-15 Subportadoras ortogonales**

La señal OFDM en bandabase se define de la siguiente manera:

$$v(t) = \sum_{k=0}^{N-1} I_k e^{j2\pi f_k t} \quad \text{Si } 0 \leq t < T$$

Donde:

$I_k$ : Símbolo complejo, este contiene la información.

$N$ : Número de subportadoras.

$k$ : Índice de la subportadora.

$T$ : Tiempo del bloque OFDM.

$1/T$ : Frecuencia de separación entre las subportadoras para que sean ortogonales.

$v(t)$ : Señal OFDM.

Para evitar ISI producto de multitrayecto se añade al comienzo del símbolo un intervalo de guarda (en ingles Guard Interval -GI-), el cual es una copia de la parte final del símbolo, este procedimiento se conoce con el nombre de prefijo cíclico. La duración mínima del GI para poder eliminar la ISI debe ser mayor al retardo introducido por el canal.

Los desplazamientos de frecuencia pueden ocurrir por diferencias entre los relojes del transmisor y el receptor, o por efecto Doppler. El efecto Doppler consiste en una variación aparente de la frecuencia de la señal debido a la existencia de un desplazamiento relativo entre el transmisor y el receptor, el cambio de la frecuencia suele ser muy pequeño debido a la baja velocidad a la cual se desplaza una terminal móvil.

### **3.9 CARACTERÍSTICAS DE LOS PUNTOS DE ACCESO**

Las características que tienen estos puntos de acceso en su interior no varían mucho con los fabricantes:

- Un equipo de radio (de 2.4 GHz, es el caso de 802.11b o 5GHz en el caso de 802.11a).
- Una o dos antenas (que pueden o no apreciarse exteriormente)

- Un software de gestión de las comunicaciones.
- Puertos para conectar el punto de acceso a Internet o a la red cableada.

### **3.9.1 EL SISTEMA DE RADIO DE LOS PUNTOS DE ACCESO**

La finalidad de estos sistemas es brindar la posibilidad de tener un cubrimiento de una zona determinada con ondas electromagnéticas que nos permita realizar varios tipos de enlaces con los cuales se envía información, estos sistemas son conocidos como chipset y vienen integrados a los equipos, los principales fabricantes de este tipo de chipset wi-fi son LUCENT e INTELSIL.

### **3.9.2 LOS PUERTOS**

Los puntos de acceso necesitan disponer de puertos para poder conectar con una red local cableada y con Internet. Para conseguir esto puntos de acceso suelen traer uno o más puertos 10/100base-T (RJ-45). No obstante las posibilidades de conectividad de los puntos de acceso no acaban aquí; dependiendo del modelo nos podemos encontrar con los siguientes puertos:

- Un punto especial para conectarse a un hub o switch de red de área local ethernet.

- Disponer internamente de un hub, por lo que ofrece de dos a cuatro puertos exteriores para conectarles los equipos de red ethernet de que disponga el usuario. Esto es ideal para el hogar o la pequeña oficina ya que evita la necesidad de disponer de un hub o switch independiente. En cualquier caso si se necesitase de más de cuatro puertos, siempre se puede comprar otro hub y conectarlo al punto de acceso para extender la red.
- Un puerto serie RS 232 para que se le pueda conectar un MODEM de red telefónica (RTB o RDSI). Esta conexión a Internet a 56 Kbps a 64 Kbps puede ser utilizada como acceso principal a Internet como acceso de seguridad en el caso de que falle la conexión de banda ancha (ADSL o cable modem).
- Puerto para conectarle una antena exterior que le provee de un mayor alcance. En el mercado existe una gran variedad de antenas externas que pueden dar respuestas a muchas necesidades distintas. Si se necesita que el punto de acceso ofrezca cobertura a una distancia superior a unos 100mts, es importante contar con un punto de acceso que disponga de un conector de este tipo.

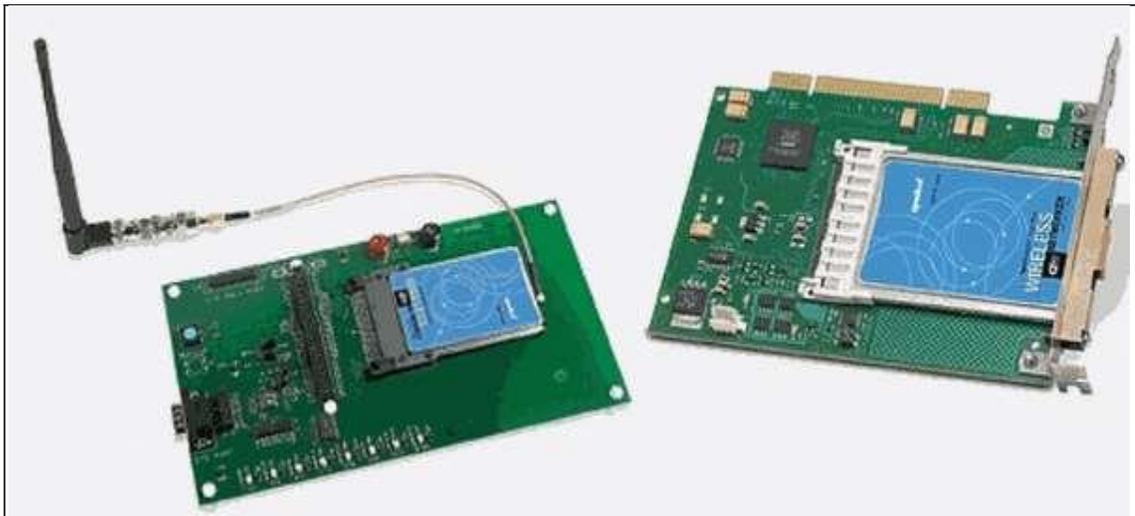
### **3.9.3 ADAPTADORES INALÁMBRICOS DE RED**

Los adaptadores de red son las tarjetas o dispositivos que se conectan a los ordenadores para que puedan funcionar dentro de una red inalámbrica. Estos equipos también pueden recibir el nombre de tarjeta de red o interface de red. De hecho, en inglés se conoce como

NIC (network interfaz cards, "tarjeta de interface de red"), a cualquier tarjeta instalable o conectable a un ordenador que sirve para integrarlo en una red inalámbrica o cableada.

Como todos los equipos de radio, los adaptadores de red necesitan una antena, esta suele venir integrada dentro del propio adaptador sin que externamente se note. Algunos adaptadores, sin embargo, permite identificar claramente su antena en cualquier caso, la mayoría de los adaptadores incluyen un conector para poder disponer una antena externa. Este tipo de antenas aumentan grande mente el alcance del adaptador.

Las siguientes son imágenes de estos adaptadores

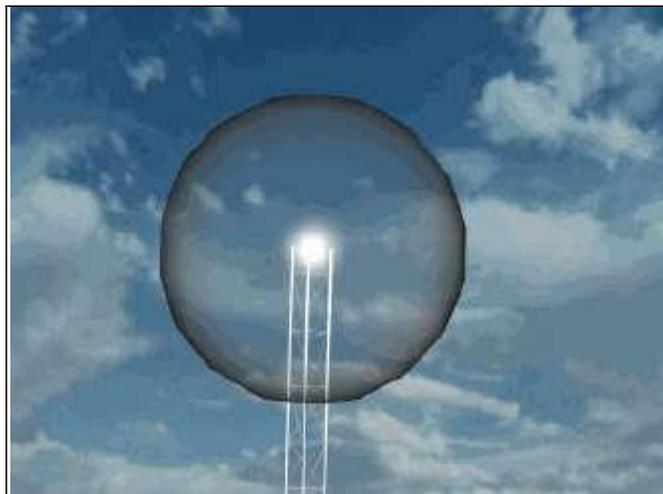


**Fig. 3-16 Tarjetas Adaptadoras de red**

Como se menciona anteriormente los dispositivos que tienen como objetivo transmitir poseen en su constitución antenas y queremos hacer una breve reseña de estas.

### 3.9.4 ANTENA EXTERIOR O DE ALTA GANANCIA

Una antena es dispositivo el cual esta predispuesta en el caso de un equipo emisor a radiar las ondas radioeléctricas y en el caso de un equipo receptor a captarlas. Una de las características más importantes de las antenas es su ganancia, esta representa la relación entre la intensidad de campo que produce dicha antena en un punto determinado y la intensidad de campo que produce una antena omnidireccional (llamada isotrópica) en el mismo punto y en las mismas condiciones. Una antena es mejor cuanto mayor es su ganancia. Las unidades de ganancia son los dBi decibelios en relación a la antena isotrópica.



**Fig. 3-17 Forma que irradiaría la señal una antena isotrópica**

La forma característica que tiene una antena de emitir la señal es lo que se conoce como su patrón de irradiación. Uno de ellos es el isotrópico que emitía la señal en forma de esfera perfecta como lo observamos en la grafica anterior. En el patrón de irradiación hay direcciones en las que se emiten muchas energías, y direcciones en donde no se emite del todo. Estos vienen a formar las llamadas direcciones "sordas" de las antenas, en donde prácticamente no se reciben señales.

Los patrones de irradiación de una antena por lo general son brindados por el fabricante en las especificaciones, en formas de grafico como el siguiente:

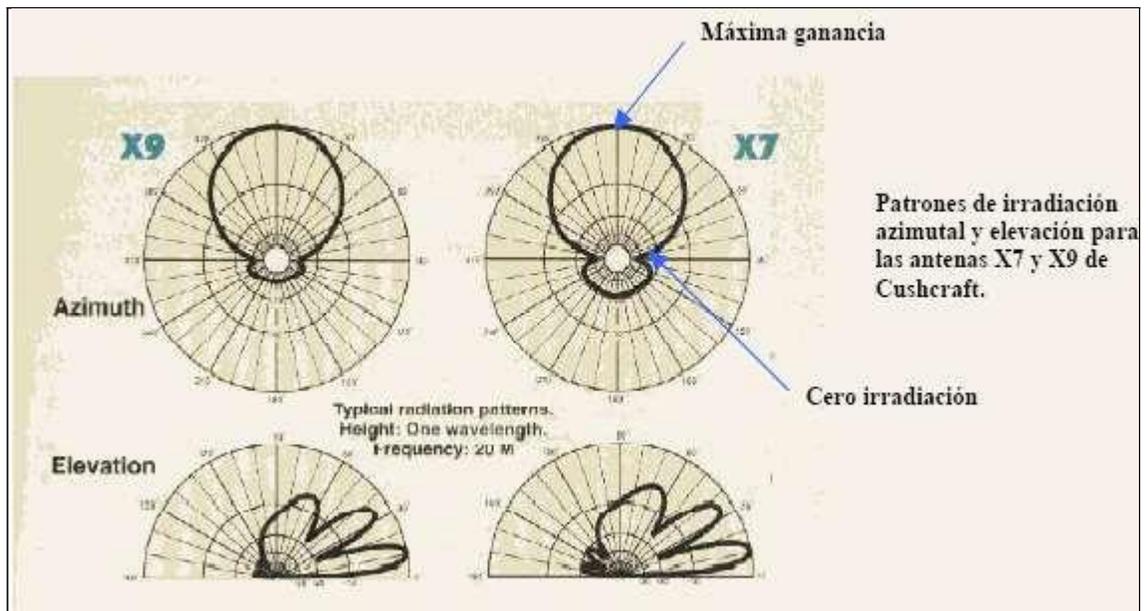


Fig. 3.18 Patrón de Radiación de una antena direccional

Las antenas también deben dotar a la onda radiada de una polarización. La polarización de una onda es la figura geométrica descrita, al transcurrir el tiempo, por el extremo del vector del campo eléctrico en un punto fijo del espacio en el plano perpendicular a la dirección de propagación. Es bueno aclarar que no por tener una antena muy larga vamos a tener una mejor o mayor radiación sino se va a obtener la variación del diagrama de irradiación y la impedancia que presenta, esto lo podemos concluir por medio del análisis de las corrientes que circulan en los extremos de la antena.

Las antenas de los puntos de acceso suelen ser antenas verticales omnidireccionales.

Estas antenas tienen una ganancia bastante mayor que las antenas que vienen incluidas en los adaptadores de red, pero bastante menor que una antena externa direccional. Las antenas direccionales concentran la energía radiada en una sola dirección, por lo que consiguen que la energía radioeléctrica llegue más lejos y por lo tanto tienen mayor alcance, aunque en una sola dirección.

La polarización de una antena describe la orientación de los campos electromagnéticos que irradia o recibe la antena. Las formas de polarización más comunes son las siguientes:

- **Vertical.** Cuando el campo eléctrico generado por la antena es vertical con respecto al horizonte terrestre (va de arriba abajo).
- **Horizontal.** Cuando el campo eléctrico generado por la antena es paralelo al horizonte terrestre.
- **Circular.** Cuando el campo eléctrico generado por la antena va rotando de vertical a horizontal, y viceversa, creando movimientos circulares en todas direcciones.

La polarización circular puede ser dextrógira (rotación a favor de las agujas del reloj, conocida también como CCW) y levógira (rotación en contra de las agujas del reloj, conocida también como CW).

- **Elíptica.** Cuando el campo eléctrico se mueve como en la polarización circular pero con desigual fuerza en las distintas direcciones. Generalmente, este tipo de polarización no suele ser intencionado.

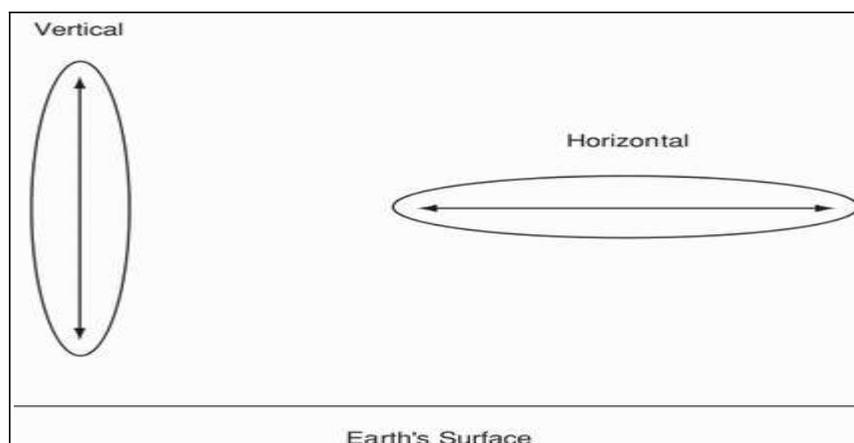


Fig. 3-19 Polarización de antenas

### 3.9.5 PARÁMETROS GENERALES DE UNA ANTENA

La antena va a formar parte de un sistema por ello tiene unos parámetros los cuales afectan al sistema y nos permitan describirla.

- Impedancia: dicha antena se conectara a un sistema y esta irradiara al máximo de potencia con el mínimo de pérdidas, siendo conectada a una línea de transmisión a la cual se le debe considerar su impedancia característica, atenuación y longitud. Como el transmisor producirá corrientes y campos, a la entrada de la antena se puede definir la impedancia de entrada mediante la relación tensión-corriente en ese punto. Esta impedancia poseerá una parte real  $R_e(\omega)$  y una parte imaginaria  $R_i(\omega)$ , dependientes de la frecuencia.

Esta resistencia de entrada se puede descomponer en dos resistencias, la resistencia de radiación ( $R_r$ ) y la resistencia de pérdidas ( $R_L$ ). Se define la resistencia de radiación como una resistencia que disiparía en forma de calor la misma potencia que radiaría la antena. La antena por estar compuesta por conductores tendrá unas pérdidas en ellos. Estas pérdidas son las que definen la resistencia de pérdidas en la antena.

- Eficiencia está relacionado con la impedancia de la antena tenemos la eficiencia de radiación y la eficiencia de reflexión. Estas dos eficiencias nos indicarán una, cuanto

de buena es una antena emitiendo señal, y otra, cuanto de bien está adaptada una antena a una línea de transmisión. La Eficiencia de Radiación se define como la relación entre la potencia radiada por la antena y la potencia que se entrega a la misma antena.

Como la potencia está relacionada con la resistencia de la antena, podemos volver a definir la eficiencia de radiación como la relación entre la resistencia de radiación y la resistencia de la antena; La eficiencia de adaptación o eficiencia de reflexión es la relación entre la potencia que le llega a la antena y la potencia que se le aplica a ella.

Esta eficiencia dependerá mucho de la impedancia que presente la línea de transmisión y de la impedancia de entrada a la antena, luego se puede volver a definir la eficiencia de reflexión como módulo del coeficiente de reflexión, siendo el coeficiente de reflexión el cociente entre la diferencia de la impedancia de la antena y la impedancia de la línea de transmisión, y la suma de las mismas impedancias.

Eficiencia de Reflexión = Coeficiente de Reflexión, donde algunas veces se define la Eficiencia Total, siendo esta el producto entre la Eficiencia de Radiación y la Eficiencia de Reflexión.

Eficiencia Total = Eficiencia de Radiación x Eficiencia de Reflexión.

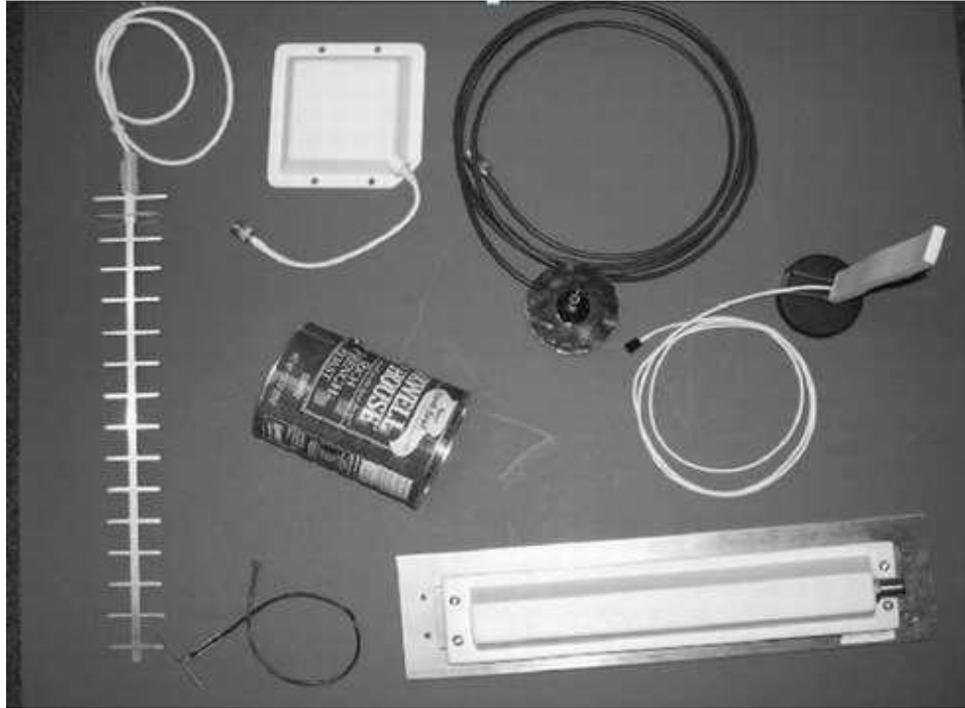
- La ganancia directiva es la relación de la densidad de potencia radiada en una dirección en particular con la densidad de potencia radiada al mismo punto por una antena de referencia, suponiendo que ambas antenas irradian la misma cantidad de potencia. El patrón de radiación para la densidad de potencia relativa de una antena es realmente un patrón de ganancia directiva si la referencia de la densidad de potencia se toma de una antena de referencia estándar, que por lo general es una antena isotrópica.

La máxima ganancia directiva se llama directividad.

- Ancho del Haz de la Antena es sólo la separación angular entre los dos puntos de media potencia (-3dB) en el lóbulo principal del patrón de radiación del plano de la antena, por lo general tomando en uno de los planos "principales".
- El ancho de banda de la antena se define como el rango de frecuencias sobre las cuales la operación de la antena es satisfactoria. Esto, por lo general, se toma entre los puntos de media potencia, pero a veces se refiere a las variaciones en la impedancia de entrada de la antena.

### **3.9.6 TIPOS DE ANTENAS**

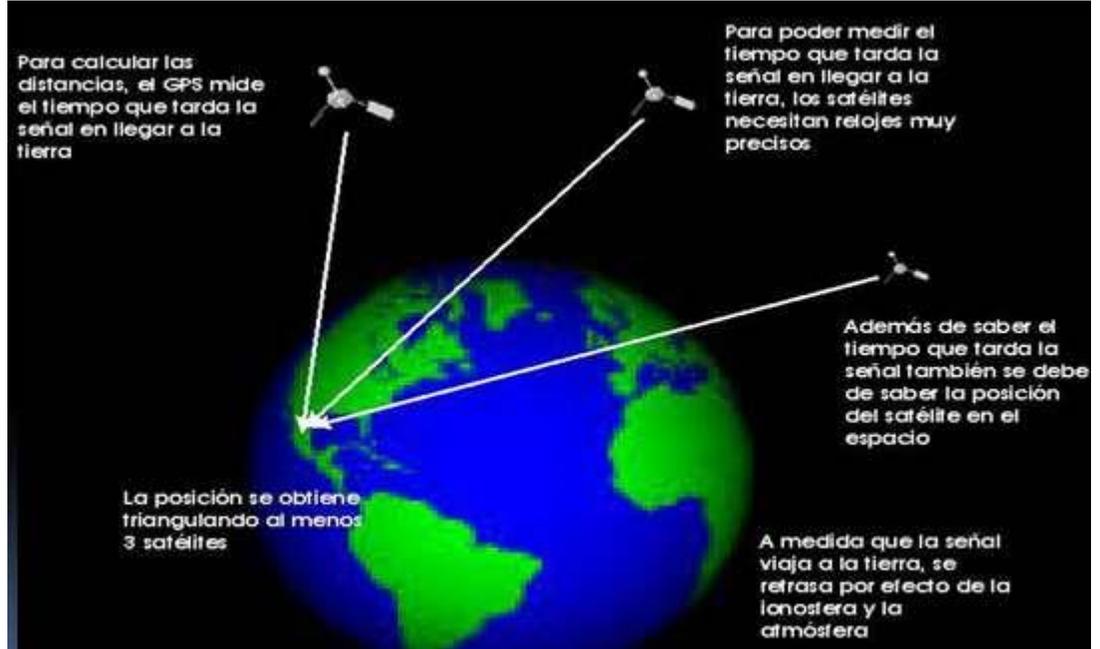
La variedad de antenas es muy grande tanto que con unos pocos componentes muy básicos podemos construir una antena, en el mercado podemos encontrar de varios tipos, como: de panel, parabólicas de disco, parabólica de rejilla, de techo, dipolo, planas, compactas, móviles sectoriales, en espiral, de Yagi, etc.



**Fig. 3-19 Antena Yagi, de panel, sectoriales etc.**

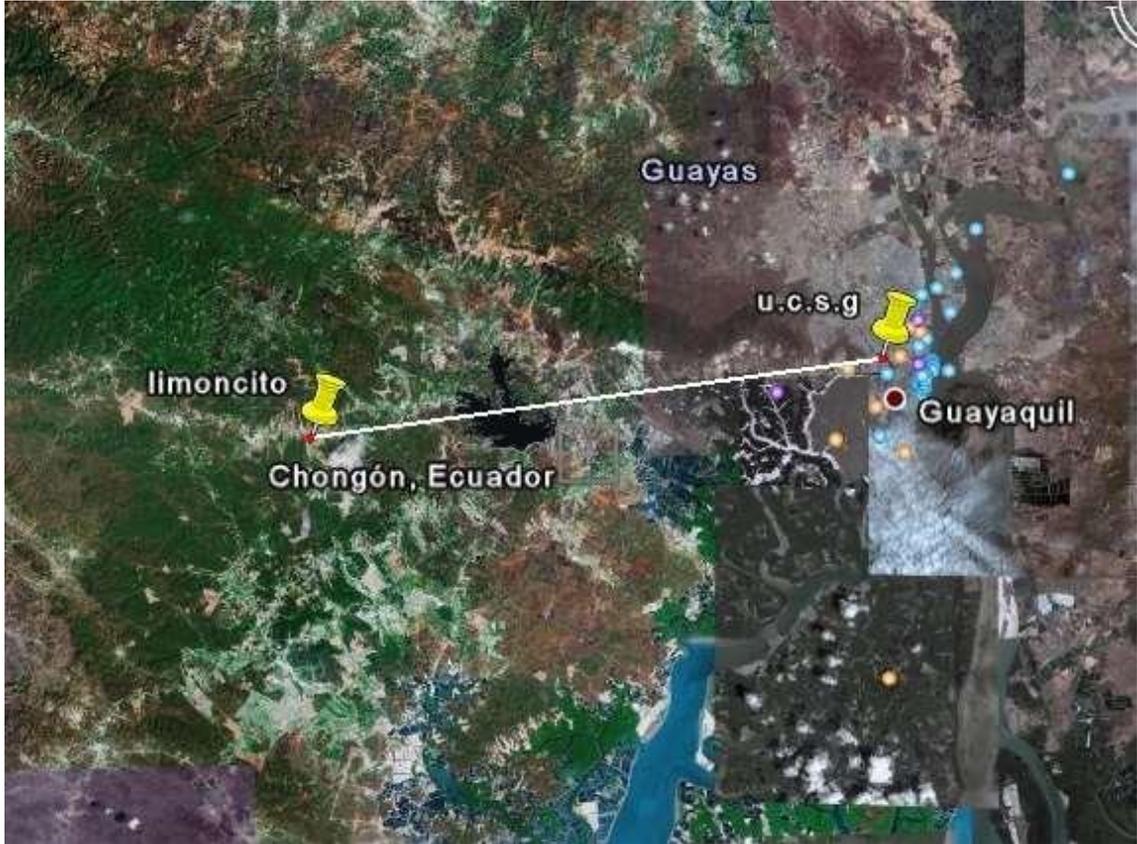
Podemos encontrar antenas omnidireccionales las cuales irradian en todas las direcciones y de la misma manera captan señal procedente de diferentes direcciones, también se encuentran las direccionales las cuales emiten en una sola dirección.

Según el diseño a ejecutar escogeremos antenas altamente direccionales, es decir las antenas parabólicas el enlace entre la Facultad Técnica y la Hacienda Limoncito es de aproximadamente 38 kilómetros, y en base a las coordenadas tomadas por un GPS (Sistema de Posicionamiento Global) proporciona una dirección disponible nueva, única e instantánea para cada punto de la superficie del planeta.



**Fig.3-20 Utilización de un GPS**

Como sabemos este dispositivo se comunica con 3 satélites los cuales hacen una triangulación y nos puede dar información de ubicación y otros. El dispositivo GPS en tierra, recibirá las coordenadas de longitud, latitud y altitud necesarias para introducirlas en cualquier software de diseño de enlaces con ello puedo calcular la altura de las torres, el modelo optimo de propagación para el enlace en frecuencia de operación a 5,8GHz.



**Fig. 3-21 Enlace punto a punto entre la Facultad Técnica y Limoncito**

Además, se puede trabajar con mapas reales, de manera que se pueden utilizar mapas de la región que se necesite. Estos mapas incluyen información orográfica del terreno, permiten saber la altura de cada punto, así como la presencia de ríos, montañas y demás accidentes geográficos, para estos casos podemos conseguir en el Instituto Geográfico Militar mapas del sector donde está ubicada la Universidad Católica De Santiago De Guayaquil y claro donde contenga el sector de Limoncito (Km 48 vía a la costa).

Como el caso nuestro es utilizar un software, lo primero que hay que hacer es introducir las coordenadas de nuestros puntos y darles nombre, según el programa dispone de cartografía digital el programa reconocerá las coordenadas, las ubicará y nos dará la altura del punto en cuestión de segundos.

A continuación ya podemos empezar a definir nuestra red, solamente vamos a simular la el enlace, y ya en el próximo trabajo de tesis se define si debemos utilizar repetidoras ya que por la distancia y la curvatura de la tierra cada 12 km sin duda dificultará el diseño.

Para el enlace se asume que con una alineación suficiente, y dado que la distancia desde la torre de la Facultad de Arquitectura hasta la torre que se ubicará en Limoncito el punto requerido del enlace va a funcionar sin mayores complicaciones, se acaba aquí la propuesta del estudio y diseño del enlace punto a punto para transmisión de datos a mas de 35 Km con frecuencia de licencia gratuita a 5,8GHz.

## **BIBLIOGRAFIA**

- ✓ <http://www.wi-fi.org/>
- ✓ <http://www.intel.com/support/sp/wireless/wlan/sb/cs-025325.htm>
- ✓ [http://www.ehas.org/uploads/file/difusion/academico/PFC/MarcBanhos\\_PFC.pdf](http://www.ehas.org/uploads/file/difusion/academico/PFC/MarcBanhos_PFC.pdf)
- ✓ <http://www.eslared.org.ve/articulos/Case%20Study%20%20Long%20DistancePic%28esp%29.pdf>