



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA DE ÁREA METROPOLITANA, PARA DISTRIBUCIÓN DE INTERNET EN MEDIOS SUBURBANOS, UTILIZANDO EL PROTOCOLO IEEE 802.11B

Edgar Alfredo Von Quednow Mancilla

Asesorado por el Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo

Guatemala, noviembre de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA DE ÁREA METROPOLITANA, PARA DISTRIBUCIÓN DE INTERNET EN MEDIOS SUBURBANOS, UTILIZANDO EL PROTOCOLO IEEE 802.11B

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EDGAR ALFREDO VON QUEDNOW MANCILLA
ASESORADO POR EL ING. ENRIQUE EDMUNDO RUIZ CARBALLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Córdova Seceña
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Hernández
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA DE ÁREA METROPOLITANA, PARA DISTRIBUCIÓN DE INTERNET EN MEDIOS SUBURBANOS, UTILIZANDO EL PROTOCOLO IEEE 802.11B,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, en noviembre de 2004.

Edgar Alfredo Von Quednow Mancilla

AGRADECIMIENTOS A:

- DIOS** Por su infinita gracia, por concederme la vida y el tiempo para alcanzar mi meta y darme aliento para continuar por su camino.
- Mis padres** Patricia Mancilla y Carlos Von Quednow, por su apoyo, amor y comprensión en esta faena tan larga. Agradezco a Dios el tenerlos a mi lado para protegerme y guiarme por este sendero.
- Mis compañeros de Universidad** Gracias a todos aquellos que influenciaron mis pasos y acciones; por sus consejos, ayuda y compañía.
Gracias Poncho, Luis, Lester, Kenneth, Erwin, Oscar, Robin, Manfred y a todos los demás.
- Mi novia y amiga** Velvet Barillas, por su amor y apoyo todos estos años.
- Mis catedráticos** Por haber contribuido a mi formación personal y profesional y en especial al Ing. Edmundo Ruiz, por su apoyo para poder desarrollar este trabajo de graduación.
- La Universidad** Gracias Universidad de San Carlos, por darme el privilegio de haber estudiado en tus aulas y pertenecer a tan selecto grupo de profesionales. Buscaré siempre mantener tu nombre en alto en dónde sea que me encuentre.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN.....	XXV

1. INTRODUCCIÓN A REDES	1
1.1. Redes de computadoras y sistemas distribuidos.....	1
1.2. Tipos de redes.....	1
1.2.1. Redes <i>broadcast</i>	1
1.2.2. Redes punto a punto.....	2
1.2.3. Redes de área local (LAN).....	2
1.2.4. Redes de área metropolitana (MAN).....	3
1.2.5. Redes de área extensa (WAN).....	3
1.2.6. Redes inalámbricas y movilidad.....	4
1.2.7. <i>Internetworking</i>	5
1.3. Arquitectura de redes.....	6
1.3.1. Diseño de arquitecturas de redes.....	7
1.3.2. Interfaces y servicios.....	8
1.3.3. Servicios orientados y no orientados a conexión.....	8
1.3.4. Primitivas de servicio.....	9
1.4. Modelos de referencia.....	9
1.4.1. El modelo de referencia OSI.....	9
1.4.1.1. La capa física.....	10
1.4.1.2. La capa de enlace (<i>data link</i>).....	11

1.4.1.3.	La capa de red.....	11
1.4.1.4.	La capa de transporte.....	11
1.4.1.5.	La capa de sesión.....	11
1.4.1.6.	La capa de presentación.....	12
1.4.1.7.	La capa de aplicación.....	12
1.4.1.8.	Transmisión de datos en el modelo OSI.....	12
1.4.2.	El modelo de referencia TCP/IP.....	13
1.4.2.1.	La capa <i>host-red</i>	14
1.4.2.2.	La capa Internet.....	14
1.4.2.3.	La capa de transporte.....	14
1.4.2.4.	La capa de aplicación.....	15
1.4.3.	Comparación de los modelos OSI y TCP/IP.....	16
1.5.	Ancho de banda.....	17
2.	INTRODUCCIÓN A LAS REDES INALÁMBRICAS.....	19
2.1.	El desarrollo de las redes inalámbricas.....	19
2.2.	Definición de una WLAN.....	20
2.3.	Estándares.....	20
2.3.1.	La ISO.....	21
2.3.2.	La ITU-T.....	22
2.3.3.	Foros industriales.....	23
2.3.4.	Otras organizaciones.....	25
2.3.4.1.	El estándar IEEE802.11x.....	26
2.3.4.1.1.	Modelo de capas IEEE802.11.....	27
2.3.4.1.2.	Frecuencias de operación.....	30
2.3.4.1.3.	Tasas de transmisión.....	32
2.3.4.1.4.	Sensibilidad de los equipos.....	32
2.3.4.1.5.	Potencia de transmisión.....	33
2.3.4.1.6.	Flexibilidad y escalabilidad.....	33

2.3.4.1.7. Seguridad.....	34
2.4. Técnicas de transmisión.....	35
2.4.1. Espectro esparcido por saltos de frecuencia (FHSS).....	36
2.4.2. Espectro esparcido de secuencia directa (DSSS).....	36
2.4.3. Multiplexación por división en frecuencias octogonales (OFDM).....	37
2.5. Topologías.....	38
2.5.1. Redes ad-hoc sin infraestructura (IBSS, <i>Independent Basic Service Set</i>).....	38
2.5.2. Redes con infraestructura (BSS, <i>Basic Service Set</i>).....	39
2.6. Una vista al futuro.....	40
3. CRITERIOS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA.....	41
3.1. Arquitectura de la red.....	41
3.1.1. Arquitectura punto a punto:.....	41
3.1.2. Arquitectura punto multipunto:.....	44
3.1.3. Arquitectura celular.....	47
3.1.4. Arquitectura <i>mesh</i>	49
3.2. Localización de los equipos.....	50
3.3. Áreas de cobertura.....	51
3.3.1.1. Cálculo de los enlaces.....	52
3.3.1.2. Presupuesto de potencia.....	52
3.3.1.3. Condiciones geométricas.....	54
3.3.1.4. Comparación experimental.....	55
3.3.2. Selección de las antenas.....	58
3.4. Capacidad y métodos de expansión.....	62
3.4.1. Escalabilidad.....	62
3.5. Calidad, eficiencia y monitoreo de los equipos.....	63
3.6. Regulación del ancho de banda por usuario.....	64

3.7.	Adaptabilidad y nuevas tecnologías.....	65
4.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO.....	67
4.1	Descripción de la arquitectura.....	68
4.2	Descripción de los equipos.....	69
4.3	Descripción de las antenas.....	72
4.4	Área de cobertura.....	74
4.4.1	Ampliaciones a las áreas de cobertura (repetidores)....	75
4.5	Capacidad de la red.....	78
4.5.1	Regulación del ancho de banda.....	78
4.6	Calidad, eficiencia y monitoreo de los equipos	79
4.7	Análisis económico.....	81
	CONCLUSIONES.....	87
	RECOMENDACIONES.....	89
	BIBLIOGRAFÍA.....	91
	ANEXOS.....	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Arquitectura punto a punto.....	41
2. Arquitectura punto multipunto sin sectorización.....	45
3. Arquitectura punto multipunto con sectorización.....	45
4. Arquitectura celular.....	48
5. Arquitectura <i>mesh</i>	49
6. Zona de cobertura.....	52
7. Fórmula de Friis	53
8. Zona de Fresnel	55
9. Tarjeta inalámbrica con antena externa	57
10. Imagen de <i>Network Stumbler</i>	57
11. Gráfica de SNR versus tiempo.....	58
12. Patrón de radiación en el plano vertical.....	59
13. Patrón de radiación en el plano horizontal	60
14. Polarización	61
15. Zona de implementación	67
16. Esquema de la arquitectura propuesta.....	68
17. Nodo instalado.....	70
18. Equipo del cliente.....	71
19. Antena externa instalada.....	71
20. Patrón de radiación de la antena sectorial	72
21. Patrón de radiación de la antena panel	73
22. Ganancia versus frecuencia	74

23. Área de cobertura	75
24. Repetidor en cascada	76
25. Repetidor con enlace independiente	77
26. Consumo de ancho de banda	80
27. Tabla de asociación y calidad de enlace	81
28. Punto de equilibrio	86
29. Hoja de datos <i>Fortigate 100A</i>	101

TABLAS

I.	Frecuencia según el dominio de regulación	31
II.	Tasas de transmisión.....	32
III.	Costo del nodo	82
IV.	Costo de los clientes	82
V.	Costo por Internet	82
VI.	Costo por recurso humano	83
VII.	Costo por renta	83
VIII.	Ingresos	83
IX.	Proyección de ingresos y egresos	85

LISTA DE SÍMBOLOS

λ	Longitud de onda (metros).
D	Máximo diámetro de la primera zona de Fresnel (metros).
r	Radio de la primera zona de Fresnel (metros).
n	Número de la zona de Fresnel.
G_T	Potencia de transmisión (dBm).
G_{At}	Ganancia de antena transmisora (dBi).
G_{Ct}	Ganancia de antena receptora (dBi).
L_{Ct}	Pérdida del cable del transmisor (dB).
L_{it}	Pérdidas de inserción en el transmisor por conectores (dB).
L_o	Pérdida de espacio libre (dB).
G_{Ar}	Ganancia de la antena receptora (dBi).
L_{Cr}	Pérdida del cable del receptor (dB).
L_{ir}	Pérdidas de inserción en el receptor (dB).

S Sensibilidad del receptor (dBm).

K Margen de holgura (dBm).

GLOSARIO

802.11a	Segundo estándar de modulación del conjunto IEEE 802.11. Éste utiliza la banda de 5.8 Ghz y opera a una velocidad teórica máxima de 54 Mbps.
802.11g	El 802.11g es el tercer estándar de modulación del conjunto IEEE 802.11. Éste utiliza la banda de 2.4 Ghz (al igual que el estándar 802.11b) pero opera a una velocidad teórica máxima de 54 Mbit/s.
ACK	<i>Acknowledgement</i> ; en español, acuse de recibo; en una trama de transmisión de datos, es un mensaje que se envía para confirmar que un mensaje o un conjunto de mensajes ha llegado.
<i>Beamwidth</i>	O ángulo de visión; es una medida de los grados de apertura de un antena hasta cierto nivel de pérdida.
BPSK	Técnica de transmisión de datos que utiliza cambios de fase para transmitir dos símbolos por tiempo.
<i>Broadcast</i>	En castellano, difusión; es un modo de transmisión de información donde un nodo emisor envía información a una multitud de nodos receptores de manera simultánea, sin necesidad de reproducir la misma transmisión nodo por nodo.

BSS	(<i>Basic Service Set</i>). Modo de operación de las redes inalámbricas que requiere un punto de acceso para funcionar.
CCA	(<i>Clear Channel Assessment</i>). Es un indicador lógico que se encuentra en la capa MAC, que determina el estado actual del medio inalámbrico.
CCK	Siglas de Codificación de Código Complementario. En el modelo de modulación para tasas de 5.5 Mbps y 11 Mbps en IEEE 802.11b.
Chipset	El Circuito Integrado Auxiliar o <i>Chipset</i> , es un conjunto de circuitos integrados que se encarga de realizar las funciones que el microprocesador delega en ellos.
CRC	Siglas de Código de Redundancia Cíclica, o códigos polinómicos. Su uso está muy extendido porque pueden implementarse en <i>hardware</i> con mucha facilidad y son muy potentes.
CSMA/CA	Siglas en inglés de Detector de Portadora de Acceso Múltiple con Elusión de Errores; es un protocolo de control de redes utilizado para evitar colisiones entre los paquetes de datos en lugar de detectarlos. Su uso está generalizado en las redes inalámbricas.

CSMA/CD	Siglas en inglés de Detector de Portadora de Acceso Múltiple con Detección de Colisiones, es un protocolo de control de redes utilizado para transmitir datos una vez que el medio de transmisión esté libre. Se basa en detectar las colisiones en el medio y esperar para transmitir.
CTS	Siglas en inglés de Libre Para Enviar; es un mensaje de señalización en una estación del protocolo IEEE 802.11 en respuesta a un mensaje de RTS. El mensaje de CTS silencia a todas las estaciones vecinas y habilita al emisor del RTS para empezar la transmisión.
dBm	El dBm es una unidad de medida utilizada para expresar la potencia absoluta mediante una relación logarítmica.
DIFS	Siglas en inglés de Espacio Inter-tramas Distribuido, es un período de tiempo de espera que genera el CSMA/CA cuando el canal se encuentra ocupado, que se debe respetar antes que el equipo empiece a transmitir.
DSSS	Espectro Ensanchado por Secuencia Directa; es una técnica de modulación que utiliza un código de pseudo ruido para modular directamente una portadora, de tal forma que aumente el ancho de banda de la transmisión y reduzca la densidad de potencia espectral (es decir, el nivel de potencia en cualquier frecuencia dada).
FDM	La multiplexación por división de frecuencia (del inglés <i>Frequency Division Multiplexing</i>), es un tipo de

multiplexación utilizada generalmente en sistemas de transmisión analógicos. Mediante este procedimiento, el ancho de banda total del medio de transmisión es dividido en porciones, asignando cada una de estas fracciones a un canal.

FHSS Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia; es una técnica de modulación en espectro ensanchado en el que la señal se emite sobre una serie de radiofrecuencias aparentemente aleatorias, saltando de frecuencia en frecuencia sincronamente con el transmisor.

Firmware O Programación en Firme; es un bloque de instrucciones de programa para propósitos específicos, grabado en una memoria tipo ROM, que establece la lógica de más bajo nivel que controla los circuitos electrónicos de un dispositivo de cualquier tipo.

Fórmula de Friis Describe la transmisión de potencia entre una estación transmisora y una receptora, en un enlace directo.

Ghz Acrónimo de Giga hertzio, equivale a 10⁹ Hz.

HDLC (*High-Level Data Link Control*); es un protocolo de comunicaciones de datos punto a punto entre dos elementos basado en el ISO 3309. Proporciona recuperación de errores en caso de pérdida de paquetes de datos, fallos de secuencia y otros.

HEC	<i>(Header Error Check)</i> . Es una trama que contiene cierta información conocida que no debe variar a menos que exista un error en la transmisión, se utiliza para control de errores y consiste en un código de redundancia cíclica de 16 bits en una trama inalámbrica.
IBSS	<i>(Independent Basic Service Set)</i> . Modo de operación de redes inalámbricas, que permite la interconexión sin punto de acceso para administrar el medio.
ICMP	Acrónimo de Protocolo de Control de Mensajes de Internet (por sus siglas en inglés); es uno de los protocolos centrales del conjunto de protocolos de Internet. Es usado principalmente por los Sistemas operativos de las computadoras en una red para enviar mensajes de error.
Ínter modulación Pasiva	Degradación de la señal causada por variaciones de temperatura, en las zonas de contacto de los conectores.
Kbps	Kbps es la abreviatura de kilo bits por segundo. Se utiliza para medir la velocidad de transferencia de información a través de una red. Equivale a 1,000 bits por segundo.
LAN	Siglas en inglés de Red de Área Local; son redes que ocupan una distancia corta, un edificio, casa o grupo de oficinas.
MAN	Siglas en inglés de Red de Área Metropolitana; normalmente abarca una distancia de unas pocas decenas

de kilómetros, que es lo que normalmente se entiende como área metropolitana

Multipath	La variación de la señal causada cuando las señales de radio toman varios caminos desde el transmisor al receptor.
mW	Unidad de medida de potencia que equivale a una milésima de Watt
NLOS	Siglas en inglés para <i>Near Line of Sight</i> , o cercano a línea de vista. Las tecnologías de radiofrecuencia utilizan el término NLOS para describir un trayecto parcialmente obstruido, entre la ubicación del transmisor de la señal y la ubicación del receptor de la señal.
OFDM	División de frecuencia por multiplexación ortogonal. Es una técnica de modulación FDM que permite transmitir grandes cantidades de datos digitales sobre una onda de radio. OFDM divide la señal de radio en muchas sub-señales que son transmitidas simultáneamente hacia el receptor en diferentes frecuencias. OFDM reduce la diafonía (efecto de cruce de líneas) durante la transmisión de la señal.
PCMCIA	(<i>Personal Computer Memory Card International Association</i>), Asociación de la industria de fabricantes de <i>hardware</i> , para ordenadores o computadoras portátiles, encargada de la elaboración de estándares.

PDU	<i>(Protocol Data Unit)</i> . Protocolo de unidad de datos. Se utiliza para el intercambio entre unidades pares, dentro de una capa del modelo OSI.
QPSK	Técnica de transmisión de datos que utiliza cambios de fase para transmitir cuatro símbolos por tiempo.
Reciprocidad, principio de	El Principio de Reciprocidad, dice que una antena tiene las mismas características de transmisión como de recepción, por lo tanto su patrón de radiación se aplica en ambos casos.
RF	Siglas de Radio Frecuencia.
<i>Router</i>	En español, enrutador o encaminador; es un dispositivo hardware o software de interconexión de redes de computadoras, que opera en la capa tres (nivel de red) del modelo OSI. Este dispositivo interconecta segmentos de red o redes enteras.
RTS	Siglas en inglés de Solicitud para poder Enviar; es un mensaje de señalización en una estación del protocolo IEEE 802.11, para indicar que tiene información para transmitir y para prevenir que otras estaciones ocupen el espacio inalámbrico.

SFD	<i>(Start Frame Delimiter)</i> . Es una cadena de símbolos que marca el fin del preámbulo y el principio del paquete de datos en una transmisión inalámbrica.
SNMP	<i>(Single Network Management Protocol)</i> . Es un protocolo de control y supervisión que forma parte de la suite de protocolos TCP/IP. SNMP permite a los administradores supervisar el desempeño de la red, buscar y resolver sus problemas, y planear su crecimiento.
SSID	<i>(Service Set Identifier)</i> . Es un código incluido en todos los paquetes de una red inalámbrica (Wi-Fi), para identificarlos como parte de esa red. El código consiste en un máximo de 32 caracteres alfanuméricos.
Telemática	Es una disciplina científica y tecnológica que surge de la evolución de la telecomunicación y de la informática.
Throughput	Capacidad para transmitir datos entre dos computadoras.
TIR	Tasa Interna de Retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR) de una inversión; está definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN) es igual a cero. El VAN o VPN es calculado a partir del flujo de caja anual, trasladando todas las cantidades futuras al presente.

Traffic shapping	(Recorte de Tráfico). Es una técnica de administración de limitación de ancho de banda que retrasa la entrega de los paquetes desde y hacia el destino de la información.
Virus	Es un programa de ordenador que puede infectar otros programas modificándolos para incluir una copia de sí mismo.
VSRW	Relación de Voltajes de Onda Estacionaria; es una forma de describir la magnitud de la reflexión entre un voltaje incidente y uno reflejado.
WAN	Siglas en inglés de Red de Área Extensa; son redes que cubren una amplia región geográfica, a menudo un país o un continente.
WDS	Acrónimo inglés de Sistema de Distribución Inalámbrico (<i>Wireless Distribution System</i>). El WDS permite la interconexión de puntos de acceso de manera inalámbrica.
WEB	Es un sistema de hipertexto que funciona sobre Internet.
WEP	Siglas en inglés de Privacidad Equivalente a la Cableada; es el sistema de cifrado incluido en el estándar IEEE 802.11 como protocolo para Redes Inalámbricas que permite cifrar la información que se transmite.

WiFi	Acrónimo de <i>Wireless Fidelity</i> ; es un conjunto de estándares para redes inalámbricas basado en las especificaciones IEEE 802.11.
WiMax	(Del inglés <i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i> = Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas); es un estándar de transmisión inalámbrica de datos (802.MAN) proporcionando accesos concurrentes en áreas de hasta 48 kilómetros de radio y a velocidades de hasta 70 Mbps, utilizando tecnología portátil LMDS.
WMAN	Siglas en inglés de Red Inalámbrica de Área Metropolitana; es una red de alta velocidad de área extensa que transmite por medios inalámbricos.
Zona de Fresnel	Es una zona de despeje adicional que hay que tener en consideración, además de haber una visibilidad directa entre dos antenas.

RESUMEN

El desarrollo de las redes inalámbricas ha sido en los últimos años un método económico y práctico de prestar servicios de datos. El presente trabajo trata de generar un método que permita distribuir Internet a un costo asequible

En el primer capítulo se desarrollan los conceptos básicos de diseño de redes: tipos de redes, arquitecturas, modelos de referencia y el concepto de ancho de banda. También presenta una introducción al concepto de redes de computadoras.

El segundo capítulo es una introducción a las redes inalámbricas: su historia de desarrollo y los estándares creados. Luego, presenta una descripción del estándar 802.11b: su modelo de capas, las tasas de operación, potencia de transmisión y datos sobre seguridad del estándar. Finalmente, se explican las diferentes técnicas de transmisión utilizadas, las topologías que una red inalámbrica soporta y el desarrollo a futuro de las redes inalámbricas.

El cuarto y último capítulo describe el diseño y la implementación del proyecto, indicando el tipo de arquitectura, equipos, antenas, áreas de cobertura estimadas, capacidad de tráfico de la red planteada y los métodos para lograr tal propósito. Posteriormente, se realiza un estudio económico para demostrar la rentabilidad del proyecto a mediano plazo.

OBJETIVOS

- **Generales**

Desarrollar los conocimientos necesarios para el diseño y la implementación de una red inalámbrica de área metropolitana (WLAN) como un medio práctico y de bajo costo para la distribución Internet.

- **Específicos**

1. Obtener los conocimientos básicos de diseño de redes.
2. Obtener los conocimientos básicos sobre los diferentes protocolos de red, y en especial del protocolo IEEE 802.11 y sus variantes.
3. Desarrollar las técnicas y criterios necesarios para realizar un radio enlace a la frecuencia de operación de los equipos de la red propuesta.
4. Desarrollar las técnicas necesarias para implementar y mantener operando estos radio enlaces.
5. Conocer los diferentes equipos existentes para realizar una red de este tipo

INTRODUCCIÓN

Las redes inalámbricas metropolitanas (WMAN) son, hasta hace poco, una alternativa económica y práctica para desarrollar proyectos de transmisión de datos. En la actualidad existen redes inalámbricas comerciales y no comerciales alrededor del mundo, como es el proyecto Zaragoza *Wireless* y Madrid *Wireless* en España y una red de comunidades en todo el planeta con proyectos similares. El protocolo favorito de transmisión para estas redes lo constituye el IEEE 802.11b, el más común, más barato y con mayor disponibilidad de *hardware* en el mercado.

El protocolo IEEE 802.11b recorrió mucho camino antes de ser estandarizado y utilizado de modo generalizado. Primero, surgió la necesidad de transmitir datos de modo inalámbrico, luego, se crearon las diferentes variantes del protocolo por los fabricantes de equipo inalámbrico, y eventualmente se fueron refinando hasta llegar a un acuerdo en el actual protocolo. Primeramente, se utilizó FSS para lograr la transmisión (IEEE 802.11) y posteriormente se estandarizó el uso de DSS.

El uso de redes inalámbricas para la distribución de Internet reduce los tiempos de instalación para el cliente final, permite una solución rápida y directa para los problemas que se puedan presentar, facilita la actualización de equipo y resulta ser un método barato para la distribución de este servicio. Sin embargo, el diseño correcto de estas redes es crucial para lograr que trabajen de modo eficiente.

La mayor parte del tiempo los usuarios de Internet no experimentan diferencia en el uso de una red cableada de una inalámbrica. Sin embargo, existen muchas y marcadas diferencias entre el diseño de una red inalámbrica de una cableada. Por ejemplo, en una red cableada no es necesario que los equipos tengan línea de vista para poderlos interconectar a diferencia de una red inalámbrica, en la cual, esto es indispensable. Las condiciones del terreno (por este mismo motivo), la presencia de otras redes, la selección correcta de equipos y antenas son determinantes en el diseño de una red inalámbrica.

El presente documento se empeña en desarrollar las técnicas y conocimientos necesarios para diseñar una red inalámbrica de área metropolitana, que permita distribuir Internet a un número determinado de usuarios de un modo eficiente, práctico y rentable.

1. INTRODUCCIÓN A REDES

1.1. Redes de computadoras y sistemas distribuidos

La expresión redes de computadoras (o simplemente redes) se utiliza cuando, por medio de la telemática, se realiza la comunicación entre dos o más computadoras. Queda excluida aquí la comunicación entre una computadora y un periférico (terminal, impresora, etc.) independientemente de la distancia a la que dicha comunicación se produzca o el tipo de medios utilizados para ella.

Un caso particular de las redes de computadoras son los *sistemas distribuidos*, en los que se intenta conectar varias computadoras mediante una red y crear un entorno de utilización tal que el usuario no perciba la existencia de múltiples sistemas, sino que los maneje como un único sistema virtual de forma transparente; para esto se utilizan normalmente protocolos o aplicaciones específicos.

1.2. Tipos de redes

1.2.1. Redes *broadcast*

En las redes *broadcast* el medio de transmisión es compartido por todas las computadoras interconectadas. Normalmente cada mensaje transmitido es para un único destinatario, cuya dirección aparece en el mensaje, pero para saberlo cada máquina de la red ha de recibir o “escuchar” cada mensaje, analizar la dirección de destino y averiguar si va o no dirigido a ella; tomar la información y dejar ir los paquetes que no tengan su dirección de destino.

En una red *broadcast* la capacidad o velocidad de transmisión indica la capacidad agregada de todas las máquinas conectadas a la red.

1.2.2.Redes punto a punto

Una red punto a punto constituye una conexión entre dos computadoras también llamada línea o enlace. Una vez un paquete es depositado en la línea el destino es conocido de forma unívoca y no es preciso en principio que lleve la dirección de destino.

Los enlaces que constituyen una red punto a punto pueden ser de tres tipos de acuerdo con el sentido de la transmisión:

- **Simplex**: la transmisión sólo puede efectuarse en un sentido
- **Semi-dúplex o “half-duplex”**: la transmisión puede hacerse en ambos sentidos, pero no simultáneamente
- **Dúplex o “full-duplex”**: la transmisión puede efectuarse en ambos sentidos a la vez.

1.2.3.Redes de área local (LAN)

Es un sistema de comunicación entre computadoras que permite compartir información, con la característica de que la distancia entre las computadoras debe ser pequeña. Estas redes son usadas para la interconexión de computadores personales y estaciones de trabajo.

Como consecuencia del alcance limitado y del control en su cableado, las redes locales suelen tener un retardo muy bajo en las transmisiones (decenas de microsegundos) y una tasa de errores muy baja.

1.2.4.Redes de área metropolitana (MAN)

En principio se considera que una MAN abarca una distancia de unas pocas decenas de kilómetros, que es lo que normalmente se entiende como área metropolitana.

El término MAN suele utilizarse también en ocasiones para denominar una interconexión de LANs ubicadas en diferentes recintos geográficos cuando se dan las siguientes circunstancias:

- La interconexión hace uso de enlaces de alta o muy alta velocidad (comparable a la de las propias LANs interconectadas).
- La interconexión se efectúa de forma transparente al usuario, que aprecia el conjunto como una única LAN por lo que se refiere a servicios, protocolos y velocidades de transmisión.
- Existe una gestión unificada de toda la red

1.2.5.Redes de área extensa (WAN)

Son redes que cubren una amplia región geográfica, a menudo un país o un continente. Este tipo de redes contiene máquinas que ejecutan programas de usuario llamadas *hosts* o sistemas finales. Los sistemas finales están

conectados a una subred de comunicaciones. La función de la subred es transportar los mensajes de un *host* a otro.

Estas redes de amplio alcance se utilizan cuando no es factible tender redes locales, ya sea porque la distancia no lo permite, por el costo de la infraestructura o porque simplemente es preciso atravesar terrenos públicos en los que no es posible tender infraestructura propia. En todos estos casos lo normal es utilizar para la transmisión de los datos los servicios de una empresa portadora.

1.1.1. Redes inalámbricas y movilidad

La tecnología de redes inalámbricas es un campo que se desarrolla actualmente a pasos agigantados. En los últimos años los fabricantes de equipos de transmisión inalámbrica han desarrollado sus productos al grado de hacerlos accesibles a casi cualquier bolsillo. Fabricantes tales como Dlink (www.dlink.com.tw) ofrecen productos que incluso superan el estándar, en cuanto a velocidad y prestaciones, a un precio dos o tres veces menor que el de los equipos disponibles hace tres años. Esto unido al desarrollo de la tecnología celular, ha hecho posible la prestación de servicios con capacidad de movimiento dentro de cierto perímetro de cobertura. Las redes inalámbricas también tienen utilidad en algunos casos donde no se requiere movilidad, como en las LANs inalámbricas. Por ejemplo, una empresa que desea establecer una nueva oficina y por rapidez, provisionalidad de la ubicación o simples razones estéticas no desea cablear el edificio puede utilizar una LAN inalámbrica.

La conexión de computadoras con total movilidad es importante en aplicaciones tales como flotas de taxis, camiones, autobuses, servicios de emergencia, fines militares, etc.

El tema de las redes inalámbricas es fundamental para el desarrollo de esta tesis, y en lo que a redes inalámbricas respecta, hay muchos estándares en el mercado. Cada estándar determina el modo de operación y capacidad de una red inalámbrica. En el desarrollo del presente documento nos enfocaremos en el protocolo IEEE 802.11b, que a mi criterio personal, es el que marca el camino para el resto de tecnologías y protocolos desarrollados y en desarrollo actualmente.

1.1.2. *Internetworking*

Si bien las clasificaciones de redes antes estudiadas tienen interés como medio de sistematizar su estudio, es obvio que en la realidad casi nunca se da uno de esos tipos en estado puro. Por ejemplo, una LAN (que normalmente será una red de tipo broadcast) casi siempre dispondrá de un *router* que la interconecte a una WAN (que generalmente consistirá en un conjunto de enlaces punto a punto). Esta interconexión de tecnologías diferentes se conoce como '*internetworking*' (que podríamos intentar traducir como 'interredes'). El router que interconecta redes diferentes está físicamente conectado a todas las redes que se desean interconectar.

Además de la combinación de medios físicos diversos es posible encontrarse con necesidades de *internetworking* en un mismo medio físico; este es el caso cuando coexisten dos protocolos de comunicación diferentes. Al ser protocolos diferentes son completamente independientes y no se pueden hablar entre sí. Sin embargo, es posible instalar en un ordenador ambos protocolos, y un programa de conversión de correo electrónico, de forma que los usuarios de ambas redes puedan intercambiar mensajes. A la máquina que interconecta el correo electrónico de los dos protocolos se la denomina *pasarela* ('*gateway*' en inglés). Una misma máquina puede actuar como pasarela para varios servicios.

Cuando una red esta formada por la interconexión de varias redes se le denomina *Internet*.

1.2. Arquitectura de redes

En los inicios de la informática el diseño de un ordenador resultaba en sí mismo una tarea tan compleja que no se tomaba en consideración la compatibilidad con otros modelos de ordenadores; la preocupación fundamental era que el diseño fuera correcto y eficiente. Las primeras redes de ordenadores tuvieron unos inicios muy similares a los primeros ordenadores: Las redes y los protocolos se diseñaban pensando en el hardware a utilizar en cada momento, sin tener en cuenta la evolución previsible, ni por supuesto la interconexión y compatibilidad con equipos de otros fabricantes. A medida que la tecnología avanzaba y se mejoraba la red se vivieron experiencias parecidas a las de los primeros ordenadores: los programas de comunicaciones, que habían costado enormes esfuerzos de desarrollo, tenían que ser reescritos para utilizarlos con el nuevo hardware, y debido a la poca modularidad prácticamente nada del código era aprovechable.

Así que el inicio fue hacer de estas comunicaciones modulares, de tal forma que los módulos fuesen ínter operables, lo cual nos llevó al modelo de capas. Las ideas básicas del modelo de capas son las siguientes:

- La capa n ofrece una serie de servicios a la capa $n+1$.
- La capa n solo 've' los servicios que le ofrece la capa $n-1$.
- La capa n en un determinado sistema solo se comunica con su homóloga en el sistema remoto (comunicación de igual a igual o 'peer-to-peer').

Esa 'conversación' se efectúa de acuerdo con una serie de reglas conocidas como *protocolo de la capa n*.

La comunicación entre dos capas adyacentes en un mismo sistema se realiza de acuerdo con una *interfaz*. La interfaz es una forma concreta de implementar un servicio y no forma parte de la arquitectura de la red.

1.2.1. Diseño de arquitecturas de redes

Cuando se diseña una arquitectura de red hay una serie de aspectos y decisiones fundamentales que condicionan todo el proceso. Entre estos cabe mencionar los siguientes:

- a. Cómo se realizará el direccionamiento, es decir, cuál será el destino de la información, por cuál o cuáles equipos en nuestra red deberá pasar para salir al Internet u a otra red, cuáles serán los equipos *pasarela (gateway)* que compartirán los servicios, etc.
- b. Que tipo de información se utilizara, si se definirán prioridades y cuáles serán estas.
- c. Como será el flujo de la información:
 - i. *Simplex*: Si la información fluye en un solo sentido (transmisor hacia receptor)
 - ii. *Duplex*: Si la información fluye en ambos sentidos en tiempos distintos (transmisor hacia receptor y viceversa, uno a la vez).
 - iii. *Full Duplex*: Si la información fluye en ambos sentidos al mismo tiempo (transmisor hacia receptor y viceversa, simultáneamente)
- d. Qué tipo de control de errores se va a utilizar
- e. Cómo se hará el control de flujo de la información y cómo se evitara y manejará la congestión de tráfico.

- f. Cuales serán los mecanismos de fragmentación y reagrupamiento de los paquetes en los cuáles se enviará la información.

1.2.2. Interfaces y servicios

El servicio se define por un conjunto de operaciones u órdenes que la capa superior puede mandar a la capa inferior.

Denominamos interfaz al conjunto de reglas que gobiernan el intercambio de información entre capas. La interfaz define qué servicios la capa inferior ofrece a su capa superior y cómo esos servicios son accedados.

1.2.3. Servicios orientados y no orientados a conexión

En el *servicio orientado a conexión*, también llamado CONS (*Connection Oriented Network Service*), primero se establece el canal de comunicación, después se transmiten los datos, y por último se termina la conexión. Dicha “conexión” se denomina *circuito virtual* (VC, *virtual circuit*). Una vez establecido el VC el camino físico que van a seguir los datos está determinado; los paquetes deben ir todos por él desde el origen al destino, y llegar en el mismo orden con el que han salido. Dado que el VC establece de forma clara el destino, los paquetes no necesitan contener su dirección

En el servicio *no orientado a conexión*, llamado también CLNS (*ConnectionLess Network Service*) la comunicación se establece de manera menos formal. Cuando una entidad tiene información que transmitir sencillamente la envía en forma de paquetes, confiando que estos llegaran a su destino mas pronto o mas tarde. No se establece previamente un VC ni otro tipo de canal de comunicación extremo a extremo; los paquetes pueden ir por caminos físicos diversos, y deben incluir cada uno la dirección de destino. Los

paquetes pueden ser almacenados por nodos intermedios de la red, y reenviados mas tarde.

A los paquetes enviados en un servicio no orientado a conexión se les denomina datagramas, ya que cada paquete viaja hacia su destino de forma completamente independiente de los demás como si fuera un telegrama.

1.2.4.Primitivas de servicio

Recordemos que, en el modelo de capas, cada capa ofrece sus servicios a la siguiente. El servicio se define por un conjunto de operaciones u órdenes que la capa superior puede mandar a la capa inferior. Dicho conjunto de operaciones se denomina primitivas.

1.3. Modelos de referencia

1.3.1.El modelo de referencia OSI

El modelo OSI (*Open Systems Interconnection* = Interconexión de sistemas abiertos). Es usado para describir el uso de datos entre la conexión física de la red y la aplicación del usuario final. Este modelo es el mejor conocido y el más usado para describir los entornos de red. En el modelo OSI el propósito de cada capa es proveer los servicios para la siguiente capa superior, resguardando la capa de los detalles de como los servicios son implementados realmente. Las capas son abstraídas de tal manera que cada capa cree que se está comunicando con la capa asociada en la otra computadora, cuando realmente cada capa se comunica sólo con las capas adyacentes de las misma computadora. La información que envía una computadora debe de pasar por todas las capas inferiores, La información entonces se mueve a través del cable de red hacia la computadora que recibe y hacia arriba a través de las capas de

esta misma computadora hasta que llega al mismo nivel de la capa que envió la información.

La serie de las reglas que se usan para la comunicación entre las capas se llama *protocolo*.

El modelo OSI define 7 capas:

- a. La capa física
- b. La capa de enlace (data link)
- c. La capa de red
- d. La capa de transporte
- e. La capa de sesión
- f. La capa de presentación
- g. La capa de aplicación

Las primeras tres capas son conocidas como Capas de Medios y estas Controlan la entrega física de mensajes a través de la red. El resto son conocidas como Capas de *Host* y proporcionan una entrega precisa de los datos entre los computadores.

1.3.1.1. La capa física

Este nivel dirige la transmisión de flujos de bits sobre un medio de conexión. Se encuentra relacionado con condiciones eléctricas-ópticas, mecánicas y funcionales del interfaz al medio de transmisión. A su vez esta encargado de aportar la señal empleada para la transmisión de los datos generados por los niveles superiores.

1.3.1.2. La capa de enlace (*data link*)

Este nivel se encarga, en el computador de origen, de alojar en una estructura lógica de agrupación de bits, llamada Trama (*Frame*), los datos provenientes de los niveles superiores. En el computador de destino, se encarga de agrupar los bits provenientes del nivel físico en tramas de datos (*Frames*) que serán entregadas al nivel de red. Este nivel es el responsable de garantizar la transferencia de tramas libres de errores de un computador a otro a través del nivel físico.

1.3.1.3. La capa de red

Es responsable del direccionamiento de mensajes y de la conversión de las direcciones lógicas y nombres, en direcciones físicas. Esta encargado también de determinar la ruta adecuada para el trayecto de los datos, basándose en condiciones de la red, prioridad del servicio, etc. El nivel de red agrupa pequeños fragmentos de mensajes para ser enviados juntos a través de la red.

1.3.1.4. La capa de transporte

Se encarga de la recuperación y detección de errores. Garantiza también, la entrega de los mensajes del computador originados en el nivel de aplicación. Es el nivel encargado de informar a los niveles superiores del estatus de la red.

1.3.1.5. La capa de sesión

Permite que dos aplicaciones residentes en computadoras diferentes establezcan, usen y terminen una conexión llamada sesión. Este nivel realiza reconocimientos de nombres y las funciones necesarias para que dos

aplicaciones se comuniquen a través de la red, como en el caso de funciones de seguridad.

1.3.1.6. La capa de presentación

Determina el formato a usar para el intercambio de datos en la red. Puede ser llamado el traductor de la red. Este nivel también maneja la seguridad de emisión pues, provee a la red servicios como el de encriptación de datos.

1.3.1.7. La capa de aplicación

Sirve como ventana para los procesos que requieren acceder a los servicios de red. La capa de aplicación comprende los servicios que el usuario final está acostumbrado a utilizar en una red.

1.3.1.8. Transmisión de datos en el modelo OSI

La transmisión de datos en el modelo OSI se realiza de forma análoga a lo ya descrito para el modelo de capas. La capa de aplicación recibe los datos del usuario y les añade una cabecera (que denominamos cabecera de aplicación), constituyendo así la PDU (*Protocol Data Unit*) de la capa de aplicación. La cabecera contiene información de control propia del protocolo en cuestión. La PDU es transferida a la capa de aplicación en el nodo de destino, la cual recibe la PDU y elimina la cabecera entregando los datos al usuario. En realidad la PDU no es entregada directamente a la capa de aplicación en el nodo de destino, sino que es transferida a la capa de presentación en el nodo local a través de la interfaz; esto es una cuestión secundaria para la capa de aplicación, que ve a la capa de presentación como el instrumento que le permite hablar con su homóloga en el otro lado.

A su vez la capa de presentación recibe la PDU de la capa de aplicación y le añade una cabecera propia, (cabecera de presentación) creando la PDU de la capa de presentación. Esta PDU es transferida a la capa de presentación en el nodo remoto usando a la capa de sesión como instrumento para la comunicación, de manera análoga a lo ya descrito para la capa de aplicación.

En el caso mas general cada capa añade una cabecera propia a los datos recibidos de la capa superior, y construye así su PDU. La capa homóloga del nodo de destino se ocupará de extraer dicha cabecera, interpretarla, y entregar la PDU correspondiente a la capa superior. En algunos casos la cabecera puede no existir. En el caso particular de la capa de enlace además de la cabecera añade una cola al construir la PDU (trama) que entrega a la capa física.

1.3.2. El modelo de referencia TCP/IP

El segundo modelo mayor de estratificación por capas no se origina de un comité de estándares, sino que proviene de las investigaciones que se realizan respecto al conjunto de protocolos de TCP/IP. Con un poco de esfuerzo, el modelo OSI puede ampliarse y describir el esquema de estratificación por capas del TCP/IP, pero los presupuestos subyacentes son lo suficientemente distintos para distinguirlos como dos diferentes.

En términos generales, el software TCP/IP está organizado en cuatro capas conceptuales que se construyen sobre una quinta capa de hardware. El siguiente esquema muestra las capas conceptuales así como la forma en que los datos pasan entre ellas.

1.3.2.1. La capa *host-red*

El software TCP/IP de nivel inferior consta de una capa de interfaz de red responsable de aceptar los datagramas IP y transmitirlos hacia una red específica. Una interfaz de red puede consistir en un dispositivo controlador (por ejemplo, cuando la red es una red de área local a la que las máquinas están conectadas directamente) o un complejo subsistema que utiliza un protocolo de enlace de datos propios (por ejemplo, cuando la red consiste de conmutadores de paquetes que se comunican con anfitriones utilizando HDLC).

1.3.2.2. La capa Internet

La capa Internet maneja la comunicación de una máquina a otra. Ésta acepta una solicitud para enviar un paquete desde la capa de transporte, junto con una identificación de la máquina, hacia la que se debe enviar el paquete. La capa Internet también maneja la entrada de datagramas, verifica su validez y utiliza un algoritmo de ruteo para decidir si el datagrama debe procesarse de manera local o debe ser transmitido. Para el caso de los datagramas direccionados hacia la máquina local, el software de la capa de red de redes borra el encabezado del datagrama y selecciona, de entre varios protocolos de transporte, un protocolo con el que manejará el paquete. Por último, la capa Internet envía los mensajes ICMP de error y control necesarios y maneja todos los mensajes ICMP entrantes.

1.3.2.3. La capa de transporte

La principal tarea de la capa de transporte es proporcionar la comunicación entre un programa de aplicación y otro. Este tipo de comunicación se conoce frecuentemente como comunicación punto a punto. La capa de transporte

regula el flujo de información. Puede también proporcionar un transporte confiable, asegurando que los datos lleguen sin errores y en secuencia. Para hacer esto, el software de protocolo de transporte tiene el lado de recepción enviando acuses de recibo de retorno y la parte de envío retransmitiendo los paquetes perdidos. El software de transporte divide el flujo de datos que se está enviando en pequeños fragmentos (por lo general conocidos como paquetes) y pasa cada paquete, con una dirección de destino, hacia la siguiente capa de transmisión. Aun cuando en el esquema anterior se utiliza un solo bloque para representar la capa de aplicación, una computadora de propósito general puede tener varios programas de aplicación accedando la red de redes al mismo tiempo. La capa de transporte debe aceptar datos desde varios programas de usuario y enviarlos a la capa del siguiente nivel. Para hacer esto, se añade información adicional a cada paquete, incluyendo códigos que identifican qué programa de aplicación envía y qué programa debe recibir, así como una suma de verificación para verificar que el paquete ha llegado intacto y utiliza el código de destino para identificar el programa de aplicación en el que se debe entregar.

1.3.2.4. La capa de aplicación

Es el nivel mas alto, los usuarios llaman a una aplicación que acceda servicios disponibles a través de la red de redes TCP/IP. Una aplicación interactúa con uno de los protocolos de nivel de transporte para enviar o recibir datos. Cada programa de aplicación selecciona el tipo de transporte necesario, el cual puede ser una secuencia de mensajes individuales o un flujo continuo de octetos. El programa de aplicación pasa los datos en la forma requerida hacia el nivel de transporte para su entrega.

1.3.3.Comparación de los modelos OSI y TCP/IP

Como ya hemos comentado, la génesis del modelo OSI y TCP/IP fue muy diferente. En el caso de OSI primero fue el modelo y después los protocolos, mientras que en TCP/IP el orden fue inverso. Como consecuencia de esto el modelo OSI es mas elegante y esta menos condicionado por ningún protocolo en particular, y se utiliza profusamente como modelo de referencia para explicar todo tipo de redes. El modelo OSI hace una distinción muy clara entre servicios, interfaces y protocolos, conceptos que a menudo se confunden en el modelo TCP/IP. Podríamos decir que la arquitectura (o el modelo) OSI es mas modular y académico que el TCP/IP.

Pero este mayor nivel de abstracción también tiene sus inconvenientes. Los diseñadores del modelo OSI no tenían experiencia práctica aplicando su modelo para desarrollar protocolos y olvidaron algunas funcionalidades importantes. Por ejemplo, las redes broadcast no fueron previstas inicialmente en la capa de enlace, por lo que se tuvo que insertar a la fuerza la subcapa MAC para incluirlas. Otro problema era que no se había previsto la interconexión de redes diferentes, cosa que fue como ya hemos visto el *alma mater* del modelo TCP/IP.

El modelo OSI tiene siete capas, mientras que el modelo TCP/IP sólo tiene cuatro. Aunque es desafortunada la fusión de la capa física y la de enlace en una oscura capa host-red, la fusión de las capas de sesión, presentación y aplicación en una sola en el modelo TCP/IP es claramente mas lógica que la del modelo OSI.

1.4. Ancho de banda

El ancho de banda es el rango de frecuencias en el que una señal determinada existe. También se conoce como el rango de frecuencias donde se encuentra concentrada la mayor energía de la señal. En informática se suele denominar así a la cantidad de datos que se pueden transmitir en una unidad de tiempo y de modo más coloquial, el ancho de banda es la velocidad de la conexión a Internet. Este término técnico es usado para describir la cantidad de datos que una computadora puede recibir mediante una conexión a Internet dentro de un periodo determinado, también se le llama como *velocidad*, aunque un modo más apropiado para ello sería *capacidad de transmisión* de la información. Normalmente las velocidades o, más correctamente, las capacidades de transmisión se miden en bits/segundo (*bps*), mientras que el tamaño de una trama, de un paquete o de un archivo se expresa en Bytes. Los prefijos Kilo, Mega, etc., se utilizan con su significado métrico (10^3 , 10^6 , etc.), no con el significado informático (2^{10} , 2^{20} , etc.). Así 1 Kb/s corresponde a 1.000 bits/s, no 1.024 bits/s; análogamente 1 Mb/s significa 1.000.000 bits/s, no 1.048.576 bits/s. Sin embargo cuando no se trata de cantidad de información (sin dividir por el tiempo) el significado sigue siendo el habitual, así por ejemplo si decimos que un determinado protocolo utiliza un tamaño máximo de paquete de 64 Kbytes queremos decir que el paquete puede contener hasta 65535 Bytes.

2. INTRODUCCIÓN A LAS REDES INALÁMBRICAS

Una red inalámbrica es una red de computadoras enlazadas por medio de ondas de radio o de luz. Las Redes Inalámbricas facilitan la operación en lugares donde la computadora no puede permanecer en un solo lugar, como en almacenes o en oficinas que se encuentren en varios pisos.

La implantación de redes cableadas en edificios ya construidos puede presentar grandes problemas. Las leyes urbanísticas y las ordenanzas municipales destinadas a la protección de edificios históricos pueden multiplicar los costes y causar problemas técnicos al encargado de implantar las redes cableadas.

En los enlaces a distancia y en exteriores, las soluciones inalámbricas permiten reducir los costos y agrandar las configuraciones posibles. En el presente capítulo nos esforzaremos por explicar qué es una red inalámbrica y los estándares y organizaciones que la definen como tal.

2.1. El desarrollo de las redes inalámbricas

La aparición en el mercado de equipos como las agendas electrónicas o PDAs, los ordenadores portátiles, junto con la creciente necesidad de conectarse a Internet a través de una red de banda ancha, hace que se hable cada vez más de las virtudes de las redes inalámbricas. No obstante se debe destacar que no se está hablando de nuevas redes.

Las redes inalámbricas llevan años ofreciendo la posibilidad de unir puntos de difícil acceso, y además le permiten moverse dentro de un entorno manteniendo su conectividad. Estos servicios estaban restringidos a las

grandes empresas, pero actualmente, gracias a los últimos desarrollos que mejoran en velocidad, la consolidación y madurez de los estándares que definen estas redes y la ampliación de terminales económicos, hace que se abra cada vez más el marco de usuarios finales a pequeños negocios e incluso a usuarios residenciales que ven en las tecnologías inalámbricas nuevas maneras de comunicarse.

2.2. Definición de una WLAN

Una WLAN (Wireless Local Area Network: Red de Area Local inalámbrica, por sus siglas en inglés) consiste en una red de corto alcance en la cual se interconectan computadoras por medio de tecnología inalámbrica, la que, como mencionamos anteriormente, utiliza ondas de radio o luz para transmitir los datos. A nivel técnico la definición formal de una WLAN la especifica un estándar. Por lo cual debemos hablar un poco primero de las instituciones que definen los estándares a nivel internacional.

2.3. Estándares

El significado primario original de **estándar** (del inglés *standard*) era bandera; color; pancarta; especialmente nacional u otra enseña. El significado primario moderno que le siguió fue "lo que es establecido por la autoridad, la costumbre o el consentimiento general". En este sentido se utiliza como sinónimo de norma.

Existe una serie de instituciones, que a nivel internacional, se encargan de definir los estándares, y las corporaciones se adjuntan a ellas para certificar sus productos. Entre las instituciones de estandarización que podemos mencionar se encuentran listadas a continuación.

2.3.1. La ISO

La Organización Internacional para la Normalización o Estandarización (ISO) es una organización internacional no gubernamental, compuesta por representantes de los cuerpos de estandarización nacionales, que produce estándares mundiales industriales y comerciales.

ISO coopera estrechamente con la Comisión Electrotécnica Internacional (*International Electrotechnical Commission, IEC*), que es responsable de la estandarización de equipos eléctricos. Para realizar esta ingente labor ISO se organiza en cerca de 200 comités técnicos denominados TC (*Technical Committee*) que se numeran en orden ascendente según su fecha de creación. El que nos interesa a nosotros es el TC97 que trata de ordenadores y proceso de la información. Cada comité tiene subcomités (*SCs*) que a su vez se dividen en grupos de trabajo o *WGs* (*Working Groups*).

El proceso de creación de un estándar ISO es como sigue. Uno de sus miembros (una organización nacional de estándares) propone la creación de un estándar internacional en un área concreta. Entonces ISO constituye un grupo de trabajo que produce un primer documento denominado borrador del comité o CD (*Committee Draft*). El CD se distribuye a todos los miembros de ISO, que disponen de un plazo de seis meses para exponer críticas. El documento, modificado de acuerdo con las críticas recibidas, se somete entonces a votación y si se aprueba por mayoría se convierte en un estándar internacional borrador o DIS (*Draft International Standard*) que se difunde para recibir comentarios, se modifica y se vota nuevamente. En base a los resultados de esta votación se prepara, aprueba y publica el texto final del estándar internacional o IS (*International Standard*). En áreas muy polémicas un CD o un DIS han de superar varias versiones antes de conseguir un número de votos suficiente, y el proceso entero puede llevar años.

2.3.2.La ITU-T

ITU: *International Telecommunication Union* o Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es el organismo especializado de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones, a nivel internacional, entre las distintas Administraciones y Empresas Operadoras.

Está compuesta por tres sectores:

UIT-T: Sector de Normalización de las Telecomunicaciones (antes CCITT).

UIT-R: Sector de Normalización de las Radiocomunicaciones (antes CCIR).

UIT-D: Sector de Desarrollo de las Telecomunicaciones.

La sede la UIT se encuentra en Ginebra (Suiza). De los tres sectores sólo nos interesa el conocido como ITU-T que se dedica a la estandarización de las telecomunicaciones.

Los miembros de la ITU-T son de cinco clases:

- Representantes de los países.
- Operadores privados reconocidos (por Ej. British Telecom, Global One, AT&T).
- Organizaciones regionales de telecomunicaciones (p. Ej. el ETSI).
- Empresas que comercializan productos relativos a telecomunicaciones y organizaciones científicas
- Otras organizaciones interesadas (bancos, líneas aéreas, etc.)

Entre los miembros hay unos 200 representantes de países, unos cien operadores privados y varios cientos de miembros de las otras clases. Sólo los representantes de los países tienen derecho a voto, pero todos los miembros pueden participar en el trabajo.

Para desarrollar su trabajo la ITU-T se organiza en Grupos de Estudio, que pueden estar formados por hasta 400 personas. Los Grupos de Estudio se dividen en Equipos de Trabajo (*Working Parties*), que a su vez se dividen en Equipos de Expertos (*Expert Teams*).

Las tareas de la ITU-T comprenden la realización de recomendaciones sobre interfaces de teléfono, telégrafo y comunicaciones de datos. A menudo estas recomendaciones se convierten en estándares reconocidos internacionalmente, por ejemplo la norma ITU-T V.24 (también conocida como EIA RS-232) especifica la posición y el significado de las señales en el conocido conector de 25 contactos utilizado en muchas comunicaciones asíncronas.

En general, la normativa generada por la UIT está contenida en un amplio conjunto de documentos denominados Recomendaciones, agrupados por Series. Cada serie está compuesta por las Recomendaciones correspondientes a un mismo tema, por ejemplo Tarificación, Mantenimiento, etc. Aunque en las Recomendaciones nunca se "ordena", solo se "recomienda", su contenido, a nivel de relaciones internacionales, es considerado como mandatorio por las Administraciones y Empresas Operadoras.

2.3.3. Foros industriales

El proceso de elaboración de estándares de la ITU-T y la ISO siempre se ha caracterizado por una gran lentitud, debido quizá a la necesidad de llegar a un consenso entre muchos participantes y a procedimientos excesivamente complejos y burocratizados. Esa lentitud fue uno de los factores que influyó en el rechazo de los protocolos OSI, por ejemplo. En el caso de RDSI la ITU-T empezó a elaborar el estándar en 1972, y lo finalizó en 1984; los servicios comerciales aparecieron hacia 1994, 22 años después de iniciado el proceso.

Los fabricantes de equipos, que perdían gran cantidad de mercado por culpa de estos retrasos, no estaban dispuestos a seguir funcionando de la misma forma. Por ello a principios de los noventa surgió un nuevo mecanismo para acelerar la creación de estándares, que fue la creación de foros industriales. La idea era simple: un conjunto de fabricantes, usuarios y expertos interesados en desarrollar una tecnología concreta forman un consorcio que se ocupa de fijar los estándares necesarios para garantizar la interoperabilidad entre diversos fabricantes; los estándares se hacen públicos de forma que cualquier fabricante que lo desee puede desarrollar productos conformes con dicho estándar.

Los foros no pretenden competir con las organizaciones internacionales de estándares, sino cooperar con ellas y ayudarlas a acelerar su proceso, especialmente en la parte más difícil, la que corresponde a la traducción de los documentos en implementaciones que funcionen en la práctica. Generalmente los foros trabajan en los mismos estándares intentando aclarar ambigüedades y definir subconjuntos de funciones que permitan hacer una implementación sencilla en un plazo de tiempo más corto y comprobar la viabilidad y la interoperabilidad entre diversos fabricantes; así los organismos de estandarización pueden disponer de prototipos reales del estándar que se está definiendo. En cierto modo es como traer a la ISO e ITU-T el estilo de funcionamiento de la IETF.

Otra característica de los foros es que se establecen fechas límite para la producción de estándares, cosa que no hacen los organismos oficiales; de esta manera los fabricantes pueden planificar la comercialización de sus productos de antemano, ya que saben para qué fecha estarán fijados los estándares necesarios.

2.3.4. Otras organizaciones

La *Internet Society*, aunque no es una organización de estándares 'oficial', es la que se ocupa de aprobar todo lo relacionado con los estándares Internet.

El IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) es una asociación profesional de ámbito internacional. Aparte de otras muchas tareas el IEEE (también llamado IE cubo) tiene un grupo que desarrolla estándares en el área de ingeniería eléctrica e informática. Entre ellos se encuentran los estándares 802 que cubren casi todo lo relacionado con redes locales. Los estándares 802 son adoptados regularmente por ISO con el número 8802.

El ANSI es como ya hemos dicho la organización de estándares de los Estados Unidos. Debido a que muchos fabricantes de equipos de comunicaciones diseñan o desarrollan sus productos en Estados Unidos muchos estándares ANSI son de interés también en otros países. Además muchos estándares ANSI son adoptados posteriormente por ISO como estándares internacionales.

El NIST (*National Institute of Standards and Technology*) es una agencia del Departamento de Comercio de los Estados Unidos., antes conocido como el NBS (*National Bureau of Standards*). Define estándares para la administración de los Estados Unidos.

El ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) es una organización internacional dedicada principalmente a la estandarización de las telecomunicaciones europeas. Es miembro de la ITU-T. Entre sus misiones está elaborar especificaciones detalladas de los estándares internacionales adaptadas a la situación de Europa en los aspectos históricos, técnicos y regulatorios.

La EIA (*Electrical Industries Association*) es una organización internacional que agrupa a la industria informática y que también participa en aspectos de la elaboración de estándares.

La ECMA (*European Computer Manufacturers Association*), creada en 1961, es un foro de ámbito europeo donde expertos en proceso de datos se ponen de acuerdo y elevan propuestas para estandarización a ISO, ITU-T y otras organizaciones.

La CEPT (*Conference European of Post and Telecommunications*) es una organización de las PTTs europeas que participa en la implantación de estándares de telecomunicaciones en Europa. Sus documentos se denominan *Norme Europeene de Telecommunication* (NET). La CEPT está avalada por la Comunidad Europea.

2.3.4.1. El estándar IEEE802.11x

Para el presente documento, el estándar que más nos interesa es el relativo a la definición de las reglas que rigen el funcionamiento de las WLAN, en especial el IEEE 802.11b. El 802.11, el primer estándar WLAN, fue desarrollado en 1997 por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE). Este estándar básico permitía transmisiones de hasta 2 Mbps. Con el tiempo, este estándar ha sido mejorado y extendido. El IEEE revisó ese estándar en octubre de 1999 para conseguir una comunicación por RF a velocidades de datos más altas. El IEEE 802.11b resultante describe las características de las comunicaciones LAN RF de 11 Mbps. El estándar IEEE 802.11 está en constante desarrollo. Existen varios grupos de trabajo encargados de proponer y definir nuevas mejoras y apéndices al estándar WLAN.

El nombre del estándar IEEE 802.11'x' se utiliza para generalizar a una familia de estándares: IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE802.11g, etc.

El estándar 802.11 define varios métodos y tecnologías de transmisión para implantaciones de LAN inalámbricas. Este estándar no sólo engloba la tecnología de radiofrecuencia sino también la de infrarrojos.

El comité IEEE 802.11 es el encargado de desarrollar los estándares para las redes de área local inalámbricas. El estándar IEEE 802.11 se basa en el mismo marco de estándares que Ethernet. Esto garantiza un excelente nivel de interoperatividad y asegura una implantación sencilla de las funciones y dispositivos de interconexión Ethernet/WLAN.

2.3.4.1.1. Modelo de capas IEEE802.11

El estándar define su propio modelo de capas que contempla 3:

- ✓ PHY *Physical Layer* (capa física, separado en PLCP y PMD)
- ✓ MAC *Media Access Control* (control de acceso al medio)
- ✓ LLC *Logical Link Control* (control lógico del enlace)

Estas capas ocupan los primeros dos niveles del modelo de referencia OSI: la capa física y la capa de data link.

La capa física (PHY) cubre la interfase física entre los dispositivos y está dedicado con la transmisión de bits puros sobre el canal de comunicaciones. Esta se separa en dos partes: PLCP (*Physical Layer Convergenve Protocol*) y PMD (*Physical Medium Dependet*)

PLCP consiste en un encabezado de 144 bits que sirve para sincronizar, para determinar la ganancia y para establecer el CCA (*Clear Channel Assessment*) que es necesario para que la capa de MAC sepa si el medio está en uso. Este preámbulo está compuesto por 128 bits de sincronización más 16 bits llamados SFD (*Start Frame Delimiter*), que consiste en una secuencia fija de 0 y 1 (1111001110100000) que marca el principio del paquete. El PLCP es siempre transmitido a 1Mbps. Los próximos 48 bits son llamados Encabezado PLCP. Cuenta con 4 campos: señal, servicio, longitud y HEC ("*header error check*" para control de errores). La señal indica a que velocidad se deberá transmitir (1, 2, 5.5 u 11Mbps). El campo de servicio se reserva para uso futuro. El campo de longitud indica la longitud del paquete, y el HEC es un CRC de 16bits del encabezado de 48bits. El PMD es dependiente del protocolo antes explicado.

La capa MAC encargada del control al acceso físico se encarga de detectar un tiempo de silencio y optar por transmitir. Después de que el host determina que el medio ha estado sin transmisiones tras un periodo mínimo de tiempo opta por transmitir su paquete. Si el medio se encuentra ocupado el *host* deberá esperar. Esta capa también es responsable de identificar el origen y el destino del paquete.

El mecanismo de control de acceso al medio está basado en un sistema denominado CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*).

Los protocolos CSMA son los mismos utilizados en Ethernet cableado (Ver tema 4.1.2). Sin embargo, en Ethernet cableado, se utilizaba el mecanismo de control de acceso CSMA/CD (CSMA con detección de colisiones). En las redes inalámbricas es muy dificultoso utilizar mecanismos de detección de colisiones, ya que requeriría la implementación de equipos de radio "*full-duplex*" (los que

serían muy costosos) y adicionalmente, en las redes inalámbricas no es posible asumir que todas las estaciones puedan efectivamente escuchar a todas las otras (lo que está básicamente asumido en los mecanismos del tipo “detección de colisiones”).

En las redes inalámbricas, el hecho de “escuchar” el medio y verlo “libre” no asegura que realmente lo esté en puntos cercanos. Es por ello que el mecanismo utilizado en las WLAN se basa en evitar las colisiones, y no en detectarlas.

Esto se logra de la siguiente manera:

- ✓ Si una máquina desea transmitir, antes de hacerlo “escucha” el medio. Si lo encuentra ocupado, lo intenta más tarde. Si lo encuentra libre durante un tiempo (denominado DIFS, *Distributed Inter Frame Space*), la máquina puede comenzar a transmitir.
- ✓ La máquina destino recibe la trama, realiza el chequeo de CRC y envía una trama de reconocimiento (ACK)
- ✓ La recepción de la trama ACK indica a la máquina original que no existieron colisiones. Si no se recibe el ACK, se retransmite la trama hasta que se reciba el ACK, o se supere el máximo número de retransmisiones.

A los efectos de reducir la probabilidad de que dos máquinas transmitan al mismo tiempo debido a que no se escuchan entre sí, la recomendación define un mecanismo de “detección virtual de portadora” (*Virtual Carrier Sense*), que funciona de la siguiente forma:

Una máquina que desea transmitir una trama, envía primero una pequeña trama de control llamada “RTS” (*Request To Send*, o “Solicitud para poder Enviar”), que incluye la dirección de origen y destino, y la duración de la siguiente trama (incluyendo la trama a enviar y su correspondiente respuesta

ACK). La máquina de destino responde (si el medio está libre) con una trama de control llamada “CTS” (*Clear To Send*, o “libre para enviar”), que incluye la misma información de duración.

Todas las máquinas reciben el RTS y/o el CTS, y por lo tanto, reciben la información de por cuanto tiempo estará ocupado el medio. De esta manera, tienen un “indicador virtual” de ocupación del medio, que les informa cuánto tiempo deben esperar para poder intentar transmitir.

Este mecanismo reduce la probabilidad de colisiones en el área del receptor. Si existen máquinas que están fuera del alcance del emisor, pero dentro del alcance del receptor, recibirán la trama CTS (enviada por el receptor) y aunque no puedan escuchar la trama del emisor, no ocuparán el medio mientras ésta dure.

La capa LLC trabaja en conjunto con la capa física para establecer y mantener conexiones fiables. Está encargada de agrupar los bits provenientes del nivel físico en tramas de datos libres de errores.

2.3.4.1.2. Frecuencias de operación

Los diferentes entes reguladores alrededor del mundo definen las frecuencias a través de las cuales se puede transmitir (dependiendo de si están ya concesionadas o no en el país que origen) y por lo tanto dependiendo de dónde se venda el equipo éste soporta esas frecuencias o no. Por ejemplo, los equipos que se venden en regiones reguladas por la FCC (Estados Unidos y Canadá) soportan 11 canales de frecuencia mientras que en las regiones reguladas por la ETSI (Europa) soportan 13 canales. En la tabla I se enumeran las frecuencias centrales de los canales (en Mhz.) que están permitidos en las diferentes regiones que se encuentran regularizadas.

Cada canal tiene un ancho de 22 MHz., lo cual significa una separación de 11 Mhz hacia cada extremo de la frecuencia central. Dado que cada frecuencia central se encuentra separada sólo 5 Mhz. una de la otra (excepto con los canales 13 y 14, que tienen una separación de 12 Mhz), tenemos de 11 a 14 canales que se traslapan entre sí, dejándonos únicamente 4 canales sin traslape: los canales 1, 6, 11 y 14 (en Japón). Este dato es importante entenderlo a la hora de seleccionar el canal de transmisión para evitar interferencias con otros equipos cercanos.

Tabla I. Frecuencia según el dominio de regulación.

Canal	FCC			ETSI			Francia			Japón			Singapur		
	f_L	f_C	f_H	f_L	f_C	f_H	f_L	f_C	f_H	f_L	f_C	f_H	f_L	f_C	f_H
1	2401	2412	2423	2401	2412	2423	2401	No asignada	2423	2401	2412	2423	2401	2412	2423
2	2406	2417	2428	2406	2417	2428	2406	No asignada	2428	2406	2417	2428	2406	2417	2428
3	2411	2422	2433	2411	2422	2433	2411	No asignada	2433	2411	2422	2433	2411	2422	2433
4	2416	2427	2438	2416	2427	2438	2416	No asignada	2438	2416	2427	2438	2416	2427	2438
5	2421	2432	2443	2421	2432	2443	2421	No asignada	2443	2421	2432	2443	2421	2432	2443
6	2426	2437	2448	2426	2437	2448	2426	No asignada	2448	2426	2437	2448	2426	2437	2448
7	2431	2442	2453	2431	2442	2453	2431	No asignada	2453	2431	2442	2453	2431	2442	2453
8	2436	2447	2458	2436	2447	2458	2436	No asignada	2458	2436	2447	2458	2436	2447	2458
9	2441	2452	2463	2441	2452	2463	2441	No asignada	2463	2441	2452	2463	2441	2452	2463
10	2446	2457	2468	2446	2457	2468	2446	2457	2468	2446	2457	2468	2446	2457	2468
11	2451	2462	2473	2451	2462	2473	2451	2462	2473	2451	2462	2473	2451	2462	2473
12		No asignada		2456	2467	2478	2456	2467	2478	2456	2467	2478	2456	2467	2478
13		No asignada		2461	2472	2483	2461	2472	2483	2461	2472	2483	2461	2472	2483
14		No asignada			No asignada			No asignada		2473	2484	2495		No asignada	

Donde:

f_L : frecuencia inferior

f_C : frecuencia central

f_H : frecuencia superior

2.3.4.1.3. Tasas de transmisión

Los equipos del protocolo 802.11 tenían capacidad de transmisión de 1Mb/s y 2Mb/s *Half-Duplex* (puesto que el espacio de transmisión es compartido y no se puede recibir y transmitir en el mismo espacio de tiempo). Se utilizó BPSK para 1Mb/s y QPSK para 2 Mb/s en la modulación de los datos y código Barker para la codificación. Conforme el protocolo fue reformándose y con la aparición de nuevas técnicas de transmisión (tema que se ampliará más adelante) se amplió a 5.5 Mb/s y 11Mb/s y nació el protocolo 802.11b mejor conocido como WiFi (*Wireless Fidelity*, o Wireless LAN) el cual, es el protocolo que más nos interesa entrar en detalle. Éste utiliza QPSK (al igual que los equipos a 2Mb/s) para modular los datos y, gracias a un cambio en la codificación propuesta por Lucent y Harris Semiconductor en 1998, una codificación de código complementario (CCK) el cual permite representar 6 bits en una sola palabra (a diferencia del código Barker que permite sólo 1). En la tabla II puede observarse las diferentes tasas de transmisión y el protocolo que está amarrado a ella.

Tabla II. Tasas de transmisión.

Tasas de Transmisión (Mb/s)	Protocolo	Sensibilidad (típica)	Potencia Máxima (mW, típica)
1	802.11 y 802.11b	-94dBm	32-50 (15-17dBm)
2	802.11 y 802.11b	-94dBm	32-50 (15-17dBm)
5.5	802.11b	-84dBm	32-50 (15-17dBm)
11	802.11b	-84dBm	32-50 (15-17dBm)

2.3.4.1.4. Sensibilidad de los equipos

La sensibilidad de los equipos dependen de la técnica de transmisión que se utilice para recibir los datos, esto como explicamos anteriormente, también va

relacionado con las velocidades de transmisión. Las tasas típicas de sensibilidad se muestran en la tabla II.

2.3.4.1.5. Potencia de transmisión

En general las potencias de transmisión no varían con la tasa de transmisión de los equipos. En general, podríamos tener como potencia de salida en el conector antes de a antena de 15dBm a 17dBm (de 50mW a 100mW) como valores típicos. En la mayoría de los equipos esta potencia es configurable, de tal modo que puede sectorizarse la cobertura de los equipos para no interferir con otros equipos circundantes. En la tabla II puede observarse un resumen de lo dicho anteriormente.

2.3.4.1.6. Flexibilidad y escalabilidad

La Flexibilidad está definida como la capacidad de adaptarse rápidamente a las circunstancias, los equipos que trabajan en el protocolo 802.11b pueden adaptarse fácilmente a muchos factores que una tecnología de cableado convencional jamás podría sortear. Por ejemplo, un cambio en la posición de los equipos que están instalados, o una redistribución del área de cobertura. Este tipo de tecnología, nos permite hacer cambios en la estructura de la red sin que esto nos

En términos generales, la escalabilidad hace referencia a la capacidad del sistema para mantener, si no mejorar, su rendimiento medio conforme aumenta el número de clientes. Un sistema escalable puede aumentar su capacidad de tráfico para soportar la nueva carga de usuarios. Los equipos basados en el protocolo 802.11g (con capacidad de tráfico de 54Mb/s) fueron diseñados para ser compatibles con los equipos de 802.11b, dicho de otro modo los equipos de 802.11b son escalables a 802.11g con lo cual podemos aumentar 5 veces

nuestra capacidad de tráfico. La tendencia, o más bien, la exigencia del comité IEEE 802.11 es que los equipos futuros basados en esta tecnología, sean compatibles con los equipos anteriores. Así los equipos basados en 802.11 son compatibles con el estándar 802.11b, y éstos últimos con el 802.11g.

2.3.4.1.7. Seguridad

Transmitir datos a través de las ondas de radio implica amenazas adicionales para la seguridad que demandan medidas extraordinarias por encima de la seguridad existente que debe estar instalada. Puesto que la mayor parte de los equipos inalámbricos están provistos de características de seguridad incorporadas, es posible implantar alta seguridad sin ningún gasto adicional.

Una característica intrínseca de los equipos de transmisión 802.11b es la encriptación WEP (*Wired Equivalent Privacy* , 'Privacidad Equivalente a la Cableada') que se puede habilitar en 64,128 ó 156 bits.

La encriptación significa que los datos son cifrados antes de que se envíen a través de la red inalámbrica y se reagrupan cuando se obtienen por el destinatario, haciéndoles así ilegibles para otros usuarios de la red. El algoritmo WEP produce un número de gran longitud que no muestra un patrón predecible. El equipo origen indica al receptor en que dígito debe dar inicio y qué cantidad deberá restar a cada número en el mensaje. Un intruso que detecte el punto de inicio no podrá leer el mensaje porque desconoce el número secreto.

El administrador de la red está en capacidad de definir un conjunto de claves a cada uno de los 'usuarios' inalámbricos basándose en un número secreto que se someterá al algoritmo de encriptado. Cualquier usuario que no disponga de una clave estará incapacitado para acceder a la red

Otra característica de seguridad es el Filtrado de direcciones MAC. La habilitación del filtrado de direcciones MAC permite la inclusión o exclusión de usuarios sobre la base de sus direcciones MAC, únicas; los usuarios no presentes en la lista serán rechazados o se les concederá acceso limitado a la red (la dirección MAC es un número único que el fabricante del componente de red asigna a ese componente en particular y lo diferencia de cualquier otro componente fabricado por él u otro fabricante, es por decirlo así, la 'huella digital' de un elemento de red).

Mediante la desconexión de la difusión de nombres de redes SSID (Identificador del Conjunto de Servicios) se añade otra variable a la ecuación, lo que hace más difícil para cualquier usuario no autorizado tener acceso a la red. Al desconectar la difusión del nombre de SSID se impide que un usuario externo 'sondee' buscando una red disponible en el aire a la cual pueda conectarse (más adelante, a lo largo del capítulo, veremos qué es el SSID y su utilidad).

2.4. Técnicas de transmisión

Para poder enviar los datos a través del espacio es absolutamente necesario utilizar una técnica de transmisión que permita baja tasa de errores y un alto aprovechamiento de potencia y espectro, debido a que no se dispone de ancho de banda ilimitado y existen límites de potencia impuestos por los entes reguladores. Existen varias técnicas para lograr este objetivo, y desde el inicio del proyecto se apostó por una técnica conocida como Espectro Esparcido (*Spread Spectrum*). Dentro de este modelo existen 2 técnicas importantes: Modulación por saltos de frecuencia (FHSS) y Espectro esparcido de secuencia directa (DSSS). Actualmente se está optando por utilizar también una técnica conocida como OFDM con la cual se alcanzan tasas de transmisión de hasta 54 Mb/s.

2.4.1. Espectro esparcido por saltos de frecuencia (FHSS)

El salto de frecuencia (FHSS, *Frequency Hopping Spread Spectrum*) es de hecho una señal de banda estrecha que cambia la frecuencia central de un modo rápido y continuo siguiendo un patrón conocido por el receptor. Moviéndose así, la señal de banda estrecha esparce su energía a través del rango de frecuencias en las cuales le es permitido moverse (de ahí que se le llama '*Spread Spectrum*', en inglés 'espectro esparcido'). El receptor, sigue, al igual que el transmisor ese mismo patrón; 'persiguiendo' la señal sin perder contacto con la información, consiguiendo de este modo, demodular la señal transmitida.

2.4.2. Espectro esparcido de secuencia directa (DSSS)

Espectro de extensión de secuencia directa ('*Direct-sequence spread-spectrum*' o DSSS) genera un patrón de *bit* redundante por cada *bit* a ser transmitido. Este *bit* patrón es llamado *chip* (o '*chipping code*'). La longitud del *chip*, tiene una probabilidad mayor de que los datos puedan ser recuperados (a esta técnica también se le conoce como código *Hamming*). Si uno o más *bits* en el *chip* son "dañados" durante la transmisión, se pueden recuperar los datos originales a través de técnicas estadísticas aplicadas sobre las señales de radio, sin necesidad de retransmisiones.

Para un receptor no atendido, DSSS aparece como una señal de ruido con un ancho de banda de bajo poder que es ignorada por el resto de los receptores.

La mayoría de los fabricantes de productos para Wireless LAN han adoptado la tecnología DSSS después de considerar los beneficios versus los costos y

rendimiento que se obtienen con ella, el protocolo 802.11b utiliza esta técnica para transmitir sus tramas de datos.

2.4.3. Multiplexación por división en frecuencias octogonales (OFDM)

Multiplexado por división en frecuencias ortogonales (*'Orthogonal Frequency-Division Multiplexing'*, OFDM) es un método de modulación digital en el cual cada señal se separa en varios canales de banda angosta a diferentes frecuencias. La tecnología se concibió inicialmente en los años 60 y 70 durante investigaciones para minimizar la interferencia entre canales cercanos uno al otro en frecuencia.

En algunos aspectos, el OFDM es similar a la multiplexación por división de frecuencia tradicional (FDM), con la diferencia básica en que los canales de frecuencia son ortogonales entre sí, por lo cual los canales pueden tener tiempos de guarda más pequeños entre sí, aprovechando así al máximo el canal de transmisión, transmitiendo paquetes de bits en canales distintos. La prioridad se le da a la minimización de interferencia o cruce entre los canales y símbolos en flujo de datos. Se le da menos importancia al perfeccionamiento de los canales individuales. Esta tecnología es la que más se está desarrollando en la actualidad, puesto que al agrupar en paquetes diferentes la información se puede aumentar también la tasa de transmisión, y con la ventaja adicional de reducir los efectos de interferencia intersimbólica y distorsión debida a eco y rebotes de la señal (conocida como *"multipath"*), se utiliza en los protocolos 802.11a y 802.11g a tasas de transmisión de hasta 54 Mb/s.

2.5. Topologías

Existen 2 topologías básicas que pueden implementarse en el protocolo 802.11b: Redes sin infraestructura o Ad-hoc (IBSS) y Redes con Infraestructura (BSS).

2.5.1.Redes ad-hoc sin infraestructura (IBSS, *Independent Basic Service Set*)

El estándar IEEE 802.11 describe los protocolos y las técnicas de transmisión correspondientes a los dos modos principales de construir y utilizar una LAN inalámbrica RF.

Una parte del estándar contempla la comunicación en redes "ad-hoc" simples. Estas redes están compuestas por varias estaciones de trabajo con un alcance de transmisión limitado interconectadas entre sí. No obstante, estas topologías no necesitan ningún sistema de control ni de transmisión central.

Una LAN inalámbrica se puede instalar, por ejemplo, en una sala de conferencias para conectar sistemas portátiles que se usarán en una reunión.

Ventajas:

- Comunicación punto a punto sin punto de acceso
- Instalación rápida y costes mínimos
- Configuración simple

Inconvenientes:

- Alcance limitado
- Número de usuarios limitado
- No integración en estructuras LAN existentes

2.5.2.Redes con infraestructura (BSS, *Basic Service Set*)

La segunda aplicación en importancia de las que se describen en el estándar IEEE 802.11 utiliza "puntos de acceso". Los puntos de acceso son componentes de red que controlan y gestionan toda la comunicación que se produce dentro de una célula LAN inalámbrica, entre células LAN inalámbricas y, finalmente, entre células LAN inalámbricas y otras tecnologías LAN. Los puntos de acceso garantizan un empleo óptimo del tiempo de transmisión disponible en la red inalámbrica.

Ventajas:

- Incluso las estaciones que no pueden "verse" entre sí directamente se pueden comunicar
- Simple integración en estructuras de cable ya existentes

Inconvenientes:

- Coste más elevado del equipo
- Instalación y configuración más complejas

La instalación básica, compuesta por un solo punto de acceso y los sistemas inalámbricos conectados, se denomina "*Basic Service Set*" (Equipo Básico de Servicio, BSS). Los equipos que pertenecen al mismo BSS se identifican entre sí por medio de un identificador de equipo de servicio (SSID, '*Service Set ID*') o nombre de red.

2.6. Una vista al futuro

El futuro de las comunicaciones inalámbricas es muy promisorio. Ya se encuentran disponibles equipos que pueden transmitir información hasta 108Mb/s, equipos con opciones de calidad de servicio y se encuentra en desarrollo un nuevo protocolo llamado WiMax el cual promete ser la más refinada y potente tecnología de transmisión de datos vía radio frecuencia a diferencia del 802.11b que tiene un alcance de aproximadamente 40 mts. a 100 mts. en interiores, WiMax promete 50 Kms. de área de servicio sin línea de vista con velocidades de transmisión de hasta 75Mb/s; cantidades, que juntas, resultan increíbles para los actuales estándares.

A la par de estas tecnologías, existe un protocolo de ruteo entre puntos de acceso conocido como Mesh, el cual puede 'observar' la carga de tráfico de los equipos y seleccionar la ruta de salida a través de los puntos de acceso que se encuentran interconectados a la red Mesh dependiendo de las condiciones de tráfico en esos equipos y del ancho de las múltiples puertas de salida por las cuales se pueda transferir la información. La combinación de WiMax con WiFi y el protocolo Mesh es un modelo que ya varias compañías proveedoras de servicio de Internet (ISP's) están pensando para sustituir los actuales equipos cableados.

3. CRITERIOS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA

Para el diseño de una red inalámbrica en el espacio libre, existen ciertos criterios referentes a las distancias que es posible cubrir, el modelo de arquitectura que se utilizará, el tráfico al que el equipo va ser expuesto, la administración de los equipos inalámbricos, el control de calidad de los enlaces y la capacidad de la red para seguir creciendo y soportar nuevos usuarios.

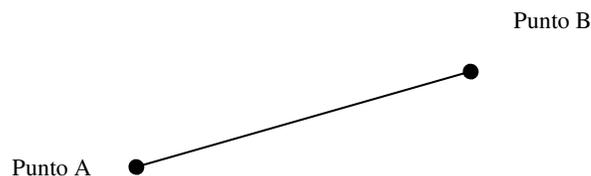
3.1. Arquitectura de la red

Existen 4 tipos de arquitecturas inalámbricas: punto a punto, punto multipunto, celular y mesh. Dependiendo de nuestra aplicación deberemos escoger la que mejor se adapte a lo que se desee hacer.

3.1.1. Arquitectura punto a punto:

La arquitectura punto a punto es la más simple de las cuatro arquitecturas inalámbricas, ésta conecta un punto individual con otro punto individual como se muestra en la figura 1

Figura 1. Arquitectura punto a punto.



Presenta las siguientes ventajas:

- a. Uso de antenas direccionales: las antenas direccionales enfocan y radian la señal en una sola dirección lo que permite maximizar la potencia de la señal y minimizar la recepción de ruido.
- b. Determinación de una sola Línea de Visión (LOS, *Line of Sight* por sus siglas en inglés): otros tipos de arquitecturas requieren varias LOS lo que complica el proceso.
- c. Inspección del Sitio (*Site Survey*): existen dos tipos de inspección; la física y la de radio frecuencia (RF). Este tipo de arquitectura requiere que se ejecuten únicamente una inspección física en cada uno de los puntos y es más fácil y rápido ejecutar una inspección de RF en una red punto a punto que en una que requiera más puntos a instalar.
- d. Costos por *Hardware*: generalmente equipo para una red punto a punto que conecta únicamente 2 terminales, es mucho más barato que el equipo que conecta 3 a 30 (o más) terminales.
- e. Costos por servicio: alquiler de espacio para el equipo, alquiler de torre para las antenas, electricidad y sistemas de protección todo esto suele ser más bajo para equipos en redes punto a punto que en redes multipunto.
- f. Instalación: mucho más sencilla por tratarse de únicamente dos puntos a instalar.
- g. Pruebas de Funcionamiento: El proceso de prueba de una red inalámbrica es una necesidad en cada punto nuevo para asegurar que la red está lista para proveer un servicio confiable. El proceso de prueba de una red punto a punto es menos compleja y más corta que una red de mayor complejidad.
- h. Soporte: Es más sencillo y barato darle soporte a una red punto a punto que a una red más grande y de mayor complejidad.

Muchos proyectos exitosos de redes terminan en una expansión de la red para servir a más usuarios, las desventajas de una red punto a punto se presentan cuando esta expansión ocurre, porque este proceso exige varias condiciones por satisfacerse que podrían resultar muy complicadas o muy costosas para ser satisfechas:

- a. Disponibilidad de LOS: Para preservar suficiente potencia de la señal inalámbrica para proveer un enlace de suficiente confiabilidad es importante (si no indispensable) contar con LOS sin obstrucción. La expansión de una red punto a punto generalmente resulta en una punto multipunto, tal situación no es posible sin puntos de visión sin obstrucción. Determinar si existe LOS requiere Inspecciones de Sitio y algunas veces pruebas de funcionamiento en cada punto.
- b. Expansión del sistema de antenas: Un sistema expandido punto multipunto sirve a varios usuarios en varias direcciones diferentes, generalmente utilizando diferentes equipos y frecuencias. Cuando un sistema punto multipunto necesita expandirse espacio adicional para las antenas puede ser difícil de obtener y el costo de alquiler demasiado alto.
- c. Nodo de bajo ruido: La operación apropiada de equipo inalámbrico ocurre cuando la señal es substancialmente más fuerte que el ruido y la interferencia. Una señal fuerte sola no hace que la red trabaje bien, una señal fuerte junto con un nivel de ruido bajo hacen que la red opere bien. Cuando se planee expandir un punto a punto a punto multipunto es importante tener una relación Señal a Ruido (SNR, *signal-to-noise ratio*, por sus siglas en inglés) para que la red trabaje apropiadamente. Como normalmente un enlace

punto a punto utiliza antenas direccionales que cubren zonas pequeñas, también reciben poco ruido; actualizar a una red punto multipunto puede resultar en un cambio de antena que cubra un área mayor, resultando también en recepción de mayor cantidad de ruido e interferencia. Si el nuevo nivel de ruido es muy alto, el SNR podría ser demasiado bajo para una operación punto multipunto.

- d. Capacidad de actualizar equipo: Es siempre bueno poder reutilizar el equipo cuando se realiza una actualización en la configuración de la red. Algunos equipos punto a punto no pueden operar en nodos punto multipunto. A la hora de escoger equipo para realizar una red punto a punto es bueno escoger equipo que se pueda configurar en operación punto multipunto.

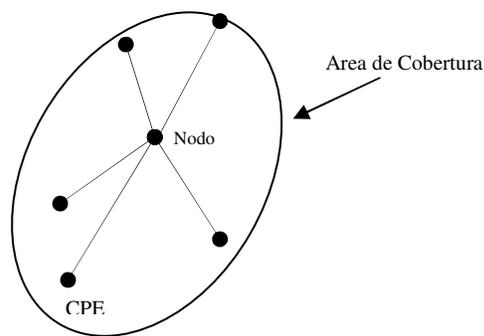
Ejemplos en los cuales esta arquitectura es la mejor opción: cuando se presentan únicamente dos sitios a instalar que no necesitaran ser expandidos en el futuro; y cuando el enlace sea más largo que un enlace de radio normal (más de 16 km).

3.1.2.Arquitectura punto multipunto:

Esta arquitectura es la forma más barata de proveer conectividad desde un nodo a muchos sitios de usuarios. Al equipo inalámbrico en el nodo se le conoce como Punto de Acceso (*Access Point*, o AP para abreviar). Al equipo en cada usuario final se le conoce generalmente como Equipo Cliente o CPE (*Customer Premises Equipment*). La arquitectura punto multipunto es utilizada, por ejemplo, cuando se quiere proveer conectividad entre edificios en un mismo sector. Otro uso de la arquitectura punto multipunto resulta cuando quiere darse acceso a Internet a varios usuarios. Dependiendo de la cantidad de usuarios en

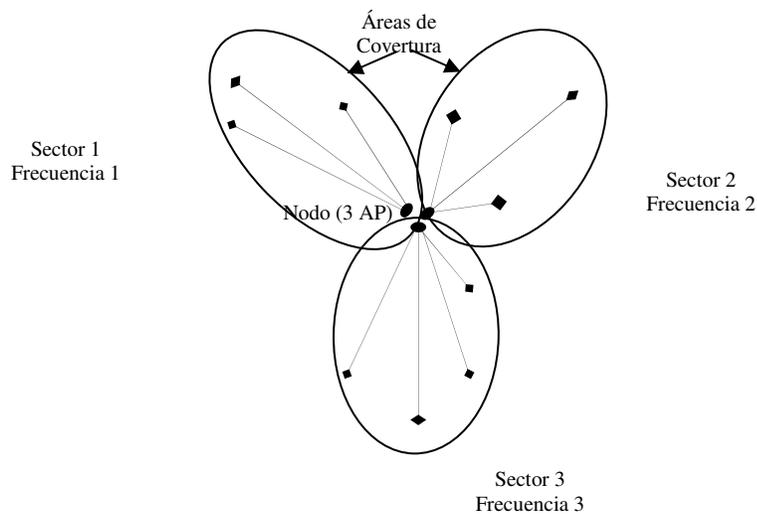
cuestión, puede dividirse el nodo en varios sectores para incrementar la capacidad de la red. Cada sector tiene su propio radio dedicado, su sistema de antenas y frecuencia. La figura 2 muestra un diagrama típico de una red punto multipunto sin sectorización.

Figura 2. Arquitectura punto multipunto sin sectorización.



La figura 3 muestra el diagrama típico de una red punto multipunto con sectorización.

Figura 3. Arquitectura punto multipunto con sectorización.



Entre las ventajas de esta arquitectura están:

- a. Costo bajo para varios usuarios: un solo equipo debe comprarse al colocar a un usuario nuevo, solamente el equipo del cliente; a diferencia con la arquitectura punto a punto que requiere de dos equipo por cada usuario nuevo instalado.
- b. Escalable: Una red punto multipunto es fácilmente escalable para servir a más usuarios, cada vez que un nuevo AP se agrega al nodo, muchos mas usuarios pueden ser agregados al nodo.
- c. Abierto para probar nuevas tecnologías: Una red punto multipunto sectorizada permite probar fácilmente nuevas tecnologías de hardware o software. Puede aislarse un solo sector para la prueba sin dejar desconectados a los demás usuarios si esta falla.

Entre las desventajas se pueden mencionar:

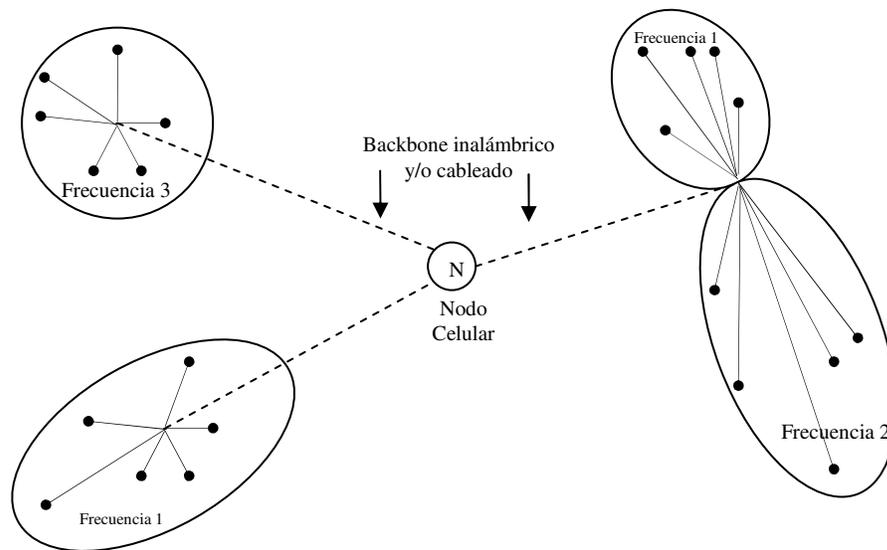
- a. Manejo de ancho de banda: el manejo de ancho de banda es más complejo que con una red punto a punto, porque varios usuarios se encuentran compartiendo un mismo AP.
- b. Selección de antenas: La selección de las antenas en una red punto multipunto es un asunto más demandante que una red punto a punto, si el área a cubrir es relativamente pequeña (1 ó 2 Km. Por ejemplo) y un número pequeño de clientes (20 o menos clientes) un AP con una antena omnidireccional podría ser suficiente. Sin embargo las condiciones suelen ser diferentes, las áreas más grandes (por lo que los niveles de ruido con antenas de mayor ganancia son más altas), el numero de usuarios si bien puede ser de 20 suele esperarse que se incremente, y suelen haber más redes sin licenciar en la misma área.
- c. Determinación de LOS: Debe realizarse una verificación de LOS por cada cliente instalado, mientras más potenciales clientes se encuentren en una zona, más tiempo debe dedicarse a encontrar LOS.

- d. Inspección del Sitio: Comparado con una red punto a punto la inspección de sitio es mucho más demandante en tiempo, más importante, el tiempo dedicado a encontrar el sitio más adecuado para el nodo es mucho mayor.
- e. Costos iniciales más altos: Comparado con un punto a punto, los costos por AP, cableado, gabinetes, conectores, antenas sectorizadas, y sistemas de UPS son más caros en una red multipunto.
- f. Costos de renta más altos: debido a la mayor cantidad de equipo y antenas.
- g. Costos de instalación más altos.
- h. Tiempo de prueba más extendido y pruebas más complejas.
- i. Los costos de mantenimiento son más altos que una red Punto a Punto, incluyendo monitoreo de la red, mantenimiento de hardware, respuesta a posibles interferencias, y mantener la seguridad de la red.

3.1.3. Arquitectura celular

Cuando varias redes punto multipunto se conectan al mismo sistema de distribución (llamado *backbone* o espina dorsal) y diseñadas para poder reutilizar las mismas frecuencias en diferentes áreas, el resultado es una red celular. La red *backbone* puede ser cableada o inalámbrica. La figura 4 muestra un diagrama de una red celular que incluye tres redes punto multipunto.

Figura 4. Arquitectura celular.



Las ventajas que presenta esta arquitectura son:

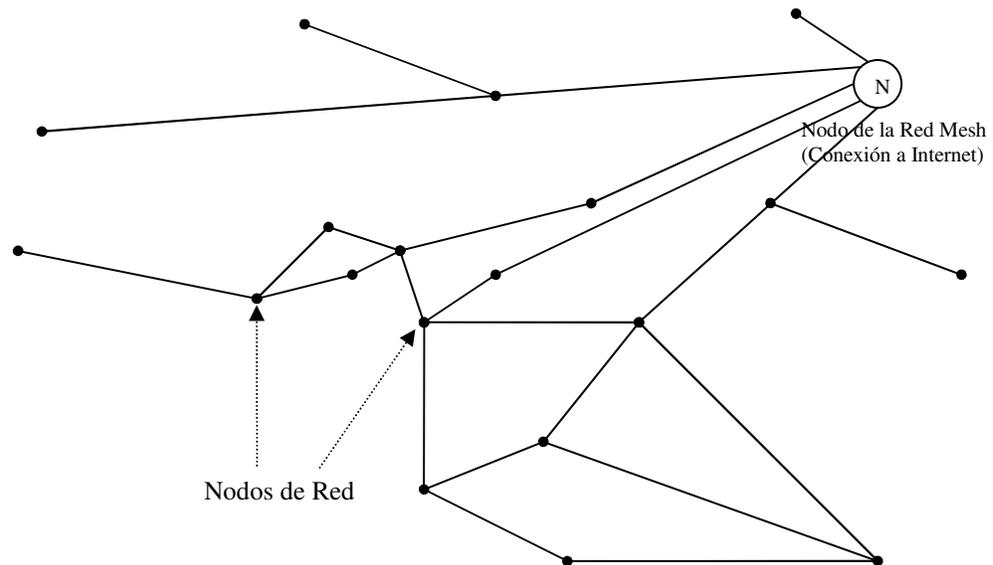
- a. Expande la cobertura geográfica.
- b. Incrementa la capacidad de la red.
- c. Permite concentrar los recursos en un solo nodo (servidor de correos, servidor de archivos, *firewall*, etc. todo ubicado solamente en el nodo celular).
- d. Provee redundancia a ciertos usuarios con cobertura de dos redes pertenecientes al mismo nodo.

Entre las principales desventajas de esta arquitectura consiste en que las celdas que estén cercanas no se interfieran entre ellas. Esto puede resultar complicado de hacer si existen también más redes en el área.

3.1.4. Arquitectura *mesh*

La arquitectura *Mesh* es una arquitectura multipunto a multipunto con una o más puntos de interconexión a Internet. En una red *Mesh* cada nodo puede conectarse con cualquier otro nodo que este encendido y dentro de un rango de alcance inalámbrico. Redes de este tipo regularmente se desarrollan en áreas donde muchos usuarios se encuentran situados relativamente cerca uno de otro, digamos, de una cuadra a 2 Km. de separación o cuando existen muchas obstrucciones situadas a poca distancia. Cada red *Mesh* realiza dos funciones: como repetidor/ruteador inalámbrico y como nodo final (cliente). Los paquetes pueden viajar a través de muchos nodos intermedios para alcanzar al nodo final. Si uno o más de los nodos intermedios está apagado o deshabilitado, el paquete es re-enrutado dinámicamente a través de los otros nodos intermedios. La figura 5 muestra un diagrama de una red tipo *Mesh*.

Figura 5. Arquitectura *mesh*.



Entre las ventajas podemos mencionar:

- a. Cobertura en condiciones con pobre línea de vista (NLOS, *near line of sight*)
- b. Ruteo con redundancia.
- c. Diseño simple de red.
- d. Instalación de antena más simple.

Entre las desventajas de su uso están:

- a. Son necesarios más nodos inalámbricos, debido a que la cobertura es menor a la de una red punto multipunto.
- b. Se tiene que tener un desarrollo progresivo de la red, un nodo situado fuera del rango de la red necesita tener otro nodo más cerca para pasar la información, esto obliga a tener un desarrollo progresivo de la red, creciendo del centro hacia fuera.
- c. Control más complicado del ancho de banda: debido a que los datos pasan de nodo a nodo, el ancho de banda disponible se comparte entre los usuarios que se conectan a cada uno de los nodos y va disminuyendo conforme se alejan del nodo de salida o destino.

3.2. Localización de los equipos

Debido a que estamos trabajando con potencias de transmisión muy bajas y una frecuencia que entra dentro del rango de microondas, resulta virtualmente indispensable que exista línea de visión (LOS) entre el punto de acceso y los equipos abonados asociados a este; es decir, que los equipos puedan “verse” sin obstrucciones físicas entre ellos, como, por ejemplo, una casa, un árbol, una pared, etc.

La posición geográfica del equipo de transmisión está destinada a cubrir la mayor cantidad de usuarios posible o deseable. Por lo tanto, se escoge un sitio

en alto que tenga la mayor visibilidad posible sin obstrucción entre el punto de acceso y los clientes que se desean asociar a él; podría hacerse, por ejemplo, en una colina, un tanque de agua, o construir una torre para colocar el equipo y la antena.

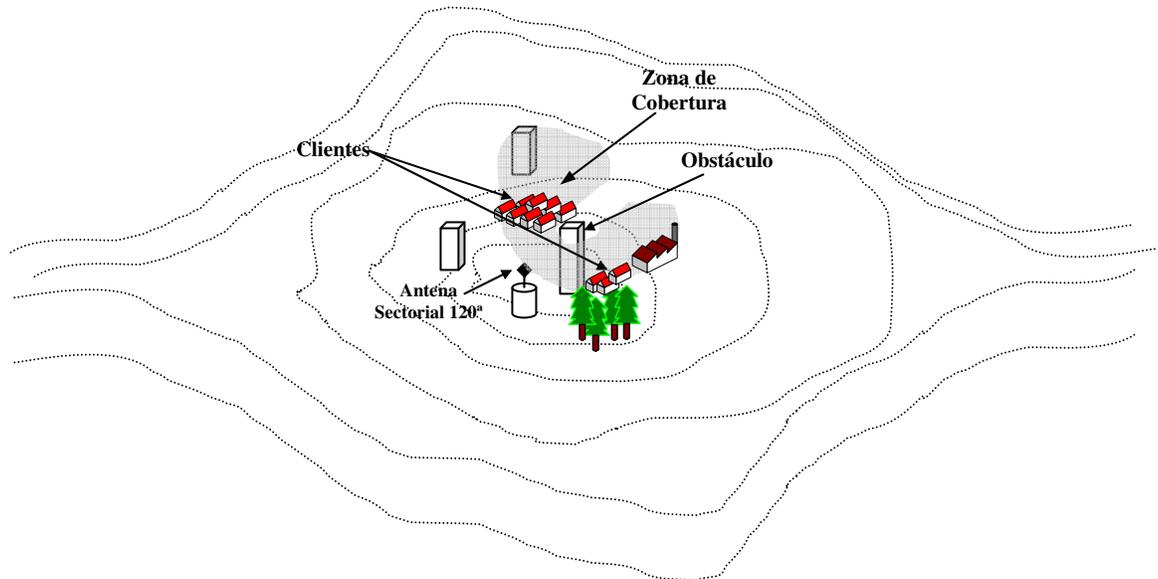
3.3. Áreas de cobertura

En general el área de cobertura depende de tres factores: la potencia de los equipos, el patrón de radiación de las antenas y las condiciones geométricas (condiciones del terreno).

Las zonas de cobertura en realidad no son figuras regulares, de hecho, son proporcionales al patrón de radiación de la antena que se coloque y se distorsionan dependiendo de los obstáculos del terreno (más adelante ampliaremos el tema del patrón de radiación).

Cuando una señal inalámbrica se desplaza en el espacio, ésta viaja expandiéndose y degradándose conforme avanza; se difracta, se refleja y se atenúa. Por ese motivo el área de cobertura debe planearse para cubrir puntos donde exista únicamente línea de vista (LOS), la posición del equipo y el patrón de radiación de la antena con respecto de los clientes es crucial. La figura 6 ilustra este caso.

Figura 6. Zona de cobertura.



3.3.1. Cálculo de los enlaces

El cálculo de transmisión de los enlaces inalámbricos se hacen utilizando dos herramientas de cálculo básicas: el presupuesto de potencia (fórmula de Friis) y el cálculo por condiciones geométricas (zonas de Fresnel). Ambas deben cumplirse para tener un enlace confiable. En los siguientes dos ítems se amplían estos temas.

3.3.1.1. Presupuesto de potencia

El presupuesto de potencia es una herramienta de cálculo que se basada en la fórmula de Friis. Básicamente partimos de que los equipos tienen una determinada sensibilidad de recepción (una potencia mínima para recibir datos con una tasa de error aceptable), una potencia de transmisión limitada y pérdidas en los diversos medios por los cuales pasa la señal. El presupuesto de potencia suma todas las ganancias, resta las pérdidas a lo largo del enlace

inalámbrico, y predice si el nivel de la señal será lo suficientemente alto para que el enlace trabaje confiablemente.

Utilizamos diversos medios para aumentar esta potencia de transmisión de tal forma que llegue a los parámetros necesarios para alcanzar un enlace de buena calidad con cierto rango de holgura en la sensibilidad de recepción.

La fórmula de Friis se muestra en la figura 7

Figura 7. Fórmula de Friis.

$$G_T + G_{At} + L_{Ct} + L_{it} + L_o + G_{Ar} + L_{Cr} + L_{ir} \leq S + k$$

Donde:

G_T =Potencia de transmisión (en dBm)

G_{At} =Ganancia de antena transmisora (en dBi)

G_{Cr} =Ganancia de antena receptora (en dBi)

L_{Ct} =Pérdida del cable del transmisor (en dB)

L_{it} =Pérdidas de inserción en el transmisor (por conectores, en dB)

L_o =Pérdida de espacio libre (en dB)

G_{Ar} =Ganancia de la antena receptora (en dBi)

L_{Cr} =Pérdida del cable del receptor (en dB)

L_{ir} =Pérdidas de inserción en el receptor (en dB)

S =Sensibilidad del Receptor (en dBm)

k =Margen de holgura (en dBm)

Las perdidas de espacio libre se calculan a partir de la siguiente ecuación:

$$L_o(\text{dB}) = 92.4 + 20 \log(d) + 20 \log(f)$$

Donde d es la distancia en metros y f la frecuencia en Ghz

Las pérdidas por espacio libre, son las pérdidas debidas a la distancia recorrida por la señal a través de espacio (la longitud total del enlace), estas pérdidas aumentan con la frecuencia y la distancia del enlace.

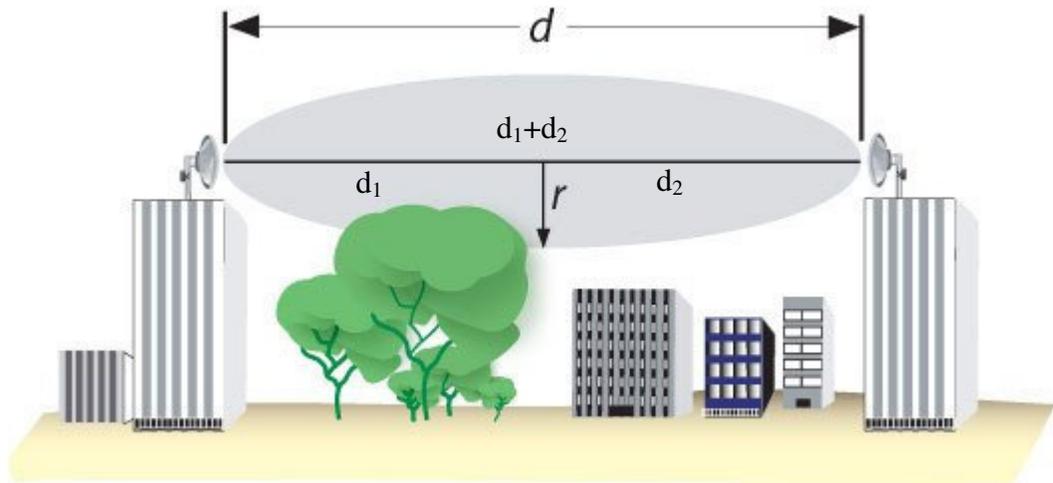
Las pérdidas en cable se calculan a partir de una tabla dada por el fabricante, usualmente en dB/metro o dB/pie según cierto rango de frecuencias. Éstas pérdidas son resultado del efecto capacitivo e inductivo del cable más las pérdidas por ley de ohm.

Las pérdidas de inserción son las ocasionadas por el contacto de los conectores en las uniones con la antena y los equipos de transmisión, normalmente el fabricante proporciona estas pérdidas dadas las frecuencias de operación.

3.3.1.2. Condiciones geométricas

Cuando una señal inalámbrica encuentra una obstrucción, la señal es siempre atenuada y usualmente reflejada o difractada. Normalmente cuando una señal inalámbrica en exteriores encuentra un obstáculo la atenuación provocada por éste es tan alta que no queda suficiente señal para realizar el enlace. Cuando se diseña un enlace inalámbrico de área metropolitana es prioritario alcanzar enlaces con línea de visión (LOS). Un enlace con línea de visión típicamente requiere que exista visibilidad entre los equipos más una zona despejada adicional para esparcir la señal inalámbrica. Ésta zona adicional se le conoce como Zona de Fresnel. La zona de Fresnel es un elipsoide con sus extremos en las antenas de los equipos de transmisión. La figura 8 muestra como calcular el diámetro mayor de la zona de Fresnel.

Figura 8. Zona de Fresnel.



$$D = 2r = \sqrt{\frac{n\lambda(d_1)(d_2)}{(d_1+d_2)}}$$

Donde

λ = longitud de onda (metros) = (velocidad de la luz)/(frecuencia)

D = máximo diámetro de la primera zona de Fresnel (metros).

r = radio de la primera zona de Fresnel (metros).

n = número de la zona de Fresnel.

Fuente: <http://www.networkcomputing.com/1115/1115ws2.html>

La fórmula mostrada en la figura 8 nos permite calcular *la n-ésima* zona de Fresnel, dentro de la primera zona puede conservarse el 80% de la energía que llega al receptor, el resto de la energía se encuentra contenida en las siguientes zonas hasta el infinito, cada una conteniendo una energía cada vez menor.

3.3.1.3. Comparación experimental

Finalmente debe hacerse una prueba de campo para determinar si estas condiciones se cumplen. Esto se logra utilizando equipo de medición de RF, aunque dependiendo del equipo, pueden utilizarse software de medición que vienen incorporados en el hardware. Normalmente los datos resultantes estarán por debajo de los valores calculados (es por eso que se coloca un margen de

error en el cálculo por presupuesto de potencia), lo que necesitamos determinar ya no será el nivel de la señal, sino una comparación con el nivel de ruido, la relación señal a ruido (SNR, *signal to noise ratio*). Hasta ahora no habíamos tomado en cuenta la presencia de otros equipos transmitiendo en la misma banda de frecuencias, pero dadas las condiciones de éste protocolo (banda sin licenciar) y que muchos productos distintos en el mercado pueden utilizar estas frecuencias, una planificación sin consideración del ruido de RF presente en el ambiente no sería realista.

Los tres métodos más utilizados para determinar el nivel de ruido (que afecta directamente el desempeño de la red) es utilizando un Analizador de Espectro, un software utilitario en la computadora con una tarjeta de red y una antena externa instalada, o hardware con un utilitario instalado en el *firmware*.

La mejor opción, si se dispone de la capacidad económica, es un Analizador de Espectro ya que éste puede detectar señales fuera de la banda de 2.4 Ghz, dentro de ella o señales muy cercanas que pueden afectar el desempeño del transmisor por saturación o picos indeseables en la señal que requieran de la instalación de un filtro pasa banda entre la antena y el transmisor. Sin embargo, como se mencionaba anteriormente, si no se puede contar con uno pueden utilizarse programas de medición que interactúan con una tarjeta inalámbrica instalada en la computadora obteniendo los datos de señal a ruido directamente del *chipset*. Para esto será necesario colocar un adaptador en la tarjeta para agregarle una extensión con cable al conector de la tarjeta y una antena para exteriores. La figura 9 muestra una adaptación como la que mencionamos.

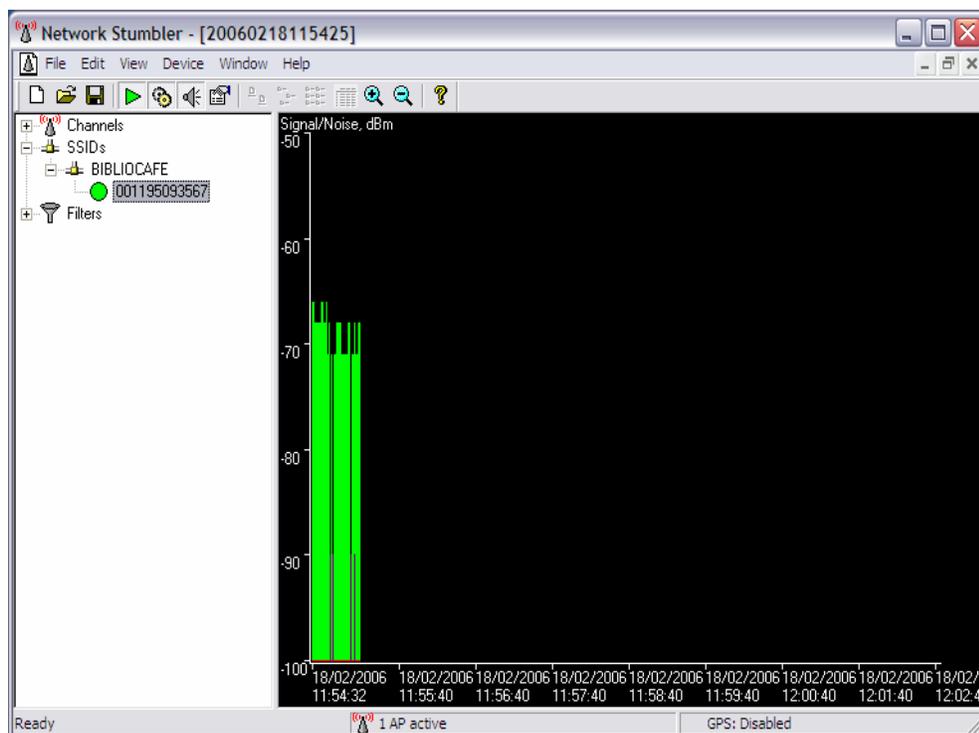
Figura 9. Tarjeta inalámbrica con antena externa



Fuente: <http://www.networkcomputing.com/1115/1115ws2.html>

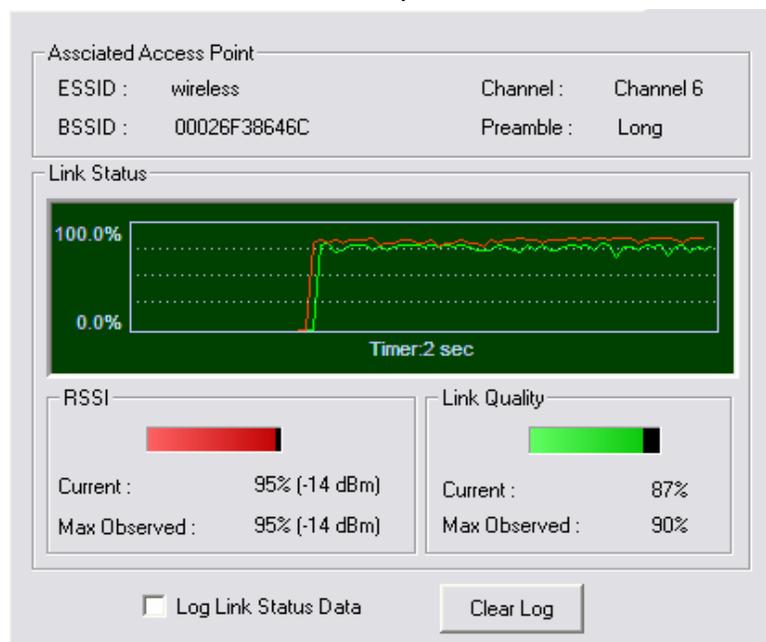
En la figura 10 se observa una imagen de *Network Stumbler*® uno de los programas más utilizados para hacer medición de SNR en una computadora.

Figura 10. Imagen de *Network Stumbler*.



También pueden utilizarse ciertas características que ofrecen algunos fabricantes en sus equipos de radio frecuencia que permiten observar la calidad de enlace que se tiene en el equipo de transmisión. Normalmente permiten observar una gráfica de SNR versus tiempo (o de potencia versus tiempo) como la que se muestra en la figura 11

Figura 11. Gráfica de SNR versus tiempo



3.3.2. Selección de las antenas

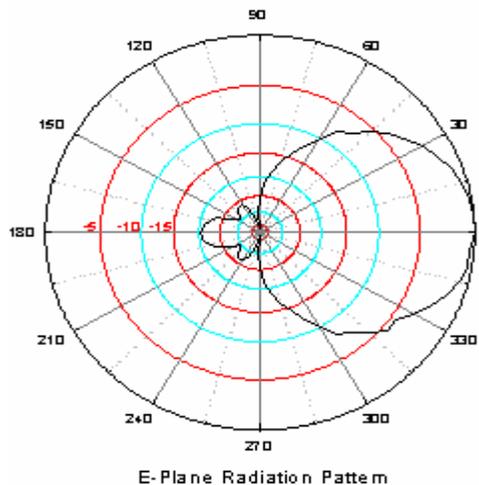
La función principal de la antena es enfocar la señal entregada por el equipo de transmisión para aumentar la señal en el receptor y (debido a una característica llamada reciprocidad) del mismo modo amplificar la señal recibida del transmisor.

Existen muchísimos y variados diseños de antenas en el mercado, pero la selección de éstas se hace de acuerdo a tres factores principales:

- a. El rango de frecuencias de operación.
- b. El patrón de radiación.
- c. La polarización.

El patrón de radiación de una antena es una gráfica que muestra cómo ésta distribuye la potencia en el espacio. La figura 12 muestra una gráfica del patrón de radiación de una antena direccional de 11 dBi en el plano vertical. En realidad el patrón de radiación es tridimensional, pero generalmente se puede suponer el resto de la gráfica teniendo solamente los cortes en los planos vertical y horizontal.

Figura 12. Patrón de radiación en el plano vertical.



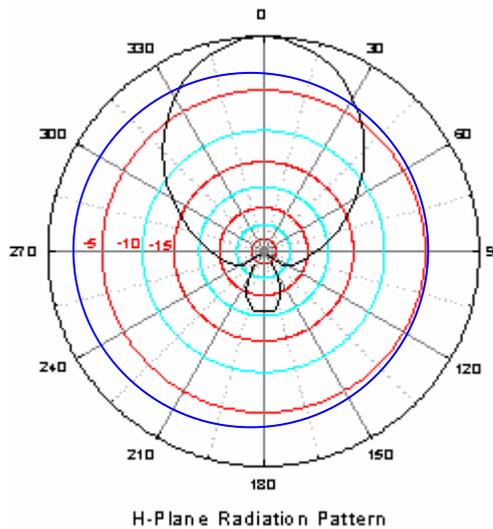
Fuente: www.superpass.com

Como puede observarse la mayor parte de la potencia se encuentra enfocada en un sector de la gráfica, a éste sector se le conoce como lóbulo principal. También puede observarse en la gráfica una línea que corta en los -

3dB, a éstos puntos de los conoce como puntos de media potencia, y la diferencia en grados de estos puntos (si trazamos una línea del punto hasta el centro de la gráfica) se le conoce como apertura de la antena (*beamwidth*) o ángulo de visión. La mayoría de la energía radiada por la antena se encuentra distribuida en ésta zona y el resto se “pierde” en los lóbulos secundarios ya que en éstos puntos no nos interesa que la antena pueda radiar energía.

En realidad el patrón de radiación es tridimensional, pero generalmente se puede suponer el resto de la gráfica teniendo solamente los cortes en los planos vertical y horizontal. En la figura 13 se muestra una gráfica del patrón de radiación de la misma antena en el plano horizontal.

Figura 13. Patrón de radiación en el plano horizontal.

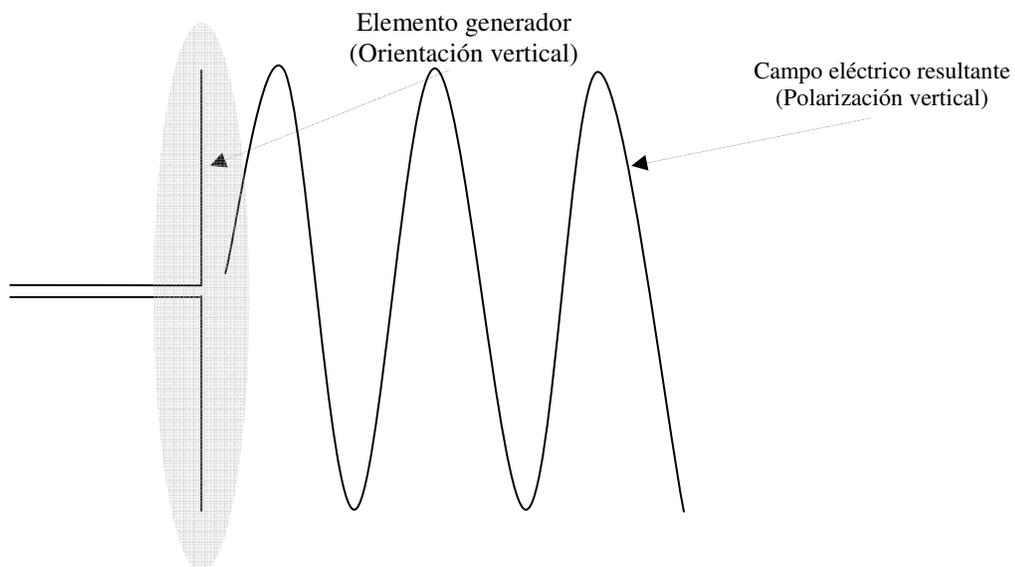


Fuente: www.superpass.com

La polarización se refiere a la forma en la cual viaja la onda electromagnética al dejar la antena. Miremos que pasa si la señal se genera a partir un trozo de alambre. Supongamos que tenemos un electrón en ese trozo y que de cierto modo lo aceleramos para que recorra la distancia en la cual se encuentra

cortado el alambre y luego se regrese hasta el origen, y así indefinidamente. Observaremos pues, que este movimiento genera una onda electromagnética en el espacio que rodea al alambre. Dos campos son generados, un campo eléctrico (E) y un campo magnético (H). El campo eléctrico existe en el mismo plano (con la misma orientación) que el elemento que la genera y si el alambre se encuentra en posición vertical la polarización del campo E será también vertical. La polarización del campo es la polarización de la antena. En la figura 14 puede observarse la forma en la cual el campo eléctrico abandona el elemento que lo genera.

Figura 14. Polarización.



La señal puede abandonar la antena en infinitas polarizaciones, incluso puede abandonar la antena girando en un campo rotatorio en una polarización circular o elíptica.

Una antena con polarización horizontal típica tiene 20dB de rechazo a una señal con polarización vertical, lo cual la permite aislar señales con polarización vertical con antenas de polarización horizontal, y por lo tanto, ganar 20dB sobre el ruido generado por polarización vertical. Las antenas con polarización circular

derecha tienen 20dB de rechazo sobre las antenas con polarización circular izquierda. Se pueden usar también antenas con polarización circular derecha para evitar ruido generado por rebotes de la señal en objetos sólidos (*multipath*) ya que una onda con polarización circular invierte su giro al rebotar en el objeto que la refleja, esto es útil en un enlace punto a punto en sectores donde exista mucho ruido debido a rebotes.

3.4. Capacidad y métodos de expansión

La capacidad de la red está determinada por el tipo de arquitectura, los equipos y los servicios que se prestan. Algunos equipos son capaces de manejar cierta cantidad de tráfico de datos, pero también reconocen conexiones y número de paquetes, por lo cual el tipo de servicio que se presta también afecta el desempeño en general. El tipo de arquitectura influye también, como se mencionó anteriormente una red punto a punto tiene mayor capacidad de transmisión de datos, pero poca capacidad de crecimiento; una red celular tiene alta capacidad de crecimiento y menor capacidad de tráfico por usuario, etc., etc.

Es importante hacer una planeación del desarrollo de la red, dados los servicios que se prestarán, el número de usuarios que se integrarán en el futuro a la red y la arquitectura que será apropiada para ello.

3.4.1. Escalabilidad

La escalabilidad se refiere a la capacidad de la red para migrar a tecnologías más modernas. Dentro de nuestra planeación también se debe tomar en cuenta que los equipos van a cambiarse y/o a combinarse con equipos de tecnologías más avanzadas, o con modelos de equipos más modernos. En el caso de éste

protocolo (802.11b) que opera a 11 Mbps existe ya un protocolo nuevo a 54Mbps (802.11g) que trabaja con tecnología OFDM. Lo deseable en éste caso sería no tener que sustituir los equipos de los clientes que operan a 11Mbps y seguir creciendo con equipos de 54Mbps (el protocolo 802.11g efectivamente es ínter operable con el protocolo 802.11b, aunque también las distancias se reducen un poco). De ser esto posible podríamos decir que nuestra red es altamente escalable y que podemos migrar a ésta nueva tecnología sin desechar la anterior. Claro que esto depende también de nuestra arquitectura para que el cambio no sea contraproducente. Por ejemplo, si tenemos una arquitectura tipo Mesh y sustituimos nodos inalámbricos de 54Mbps sobre caminos de 11Mbps lo que obtendríamos sería un cuello de botella en los nodos de 11Mbps que tendrían que soportar el tráfico extra hasta el nodo principal o destino.

3.5. Calidad, eficiencia y monitoreo de los equipos

La calidad de los enlaces se degrada con el tiempo. Esto se debe a varios factores, como el aumento de humedad en el dieléctrico del cable o por la degradación por variaciones de temperatura en las zonas de contacto de los conectores (un fenómeno llamado *ínter modulación pasiva*). Una buena instalación puede aumentar notablemente la duración de la calidad del enlace. Pero también la calidad del enlace se ve afectada por el ruido presente en el ambiente generando una caída del *throughput* (capacidad de tráfico en el enlace) cuando tenemos pérdida de paquetes y retransmisiones e incluso desconexión; en general, cualquier caída en el *throughput* significa que tenemos un problema en nuestra red. Un enlace se vuelve ineficiente cuando no puede operar a su capacidad completa.

Para mejorar la eficiencia de los enlaces es necesario realizar monitoreos regulares de los equipos conectados a la red.

El monitoreo debe realizarse observando los niveles de ruido presente en el ambiente, y revisando los equipos clave que deben estar conectados a la red para no interrumpir el servicio. Los equipos que se seleccionen para montar la infraestructura de nuestra red deben tener características de monitoreo. Normalmente soportan un protocolo conocido como SNMP (*Single Network Management Protocol*) sobre el cual se pueden enviar datos de calidad de enlace, equipos conectados al nodo y sus SNR respectivos, etc. a una computadora con un programa capaz de recibir la trama de SNMP. Los datos obtenidos son útiles para generar estadísticas de los enlaces o para corregir problemas de ruido (que normalmente se arreglan con un cambio de canal).

3.6. Regulación del ancho de banda por usuario

En todo equipo de transmisión tenemos un ancho de banda y un *throughput* limitado. La regulación del ancho de banda permite manejar el total de ancho de banda disponible, para ofrecer diferentes niveles de servicios a diferentes usuarios o grupos de usuarios finales. También permite prestar servicios a más usuarios, ya que incluso un solo usuario puede utilizar todo el ancho de banda disponible para una sola aplicación. La regulación de ancho de banda es una característica de calidad de servicio (QoS, Quality of Service) que algunos equipos incluyen, pero también puede comprarse equipo adicional para lograr la regulación, equipo que incluso permite regular no sólo a usuarios, sino a servicios y protocolos de servicios. La selección de equipo de regulación de ancho de banda debe hacerse no sólo para poder aprovechar la capacidad de los equipos, sino también el ancho de banda de los servicios de los que se dispone. Por ejemplo, si se tratase de Internet, se dispone de una cantidad determinada de ancho de banda y se fracciona para poder ser utilizado por

cada uno de los usuarios finales de tal modo que todos los usuarios puedan disponer del servicio.

3.7 Adaptabilidad y nuevas tecnologías

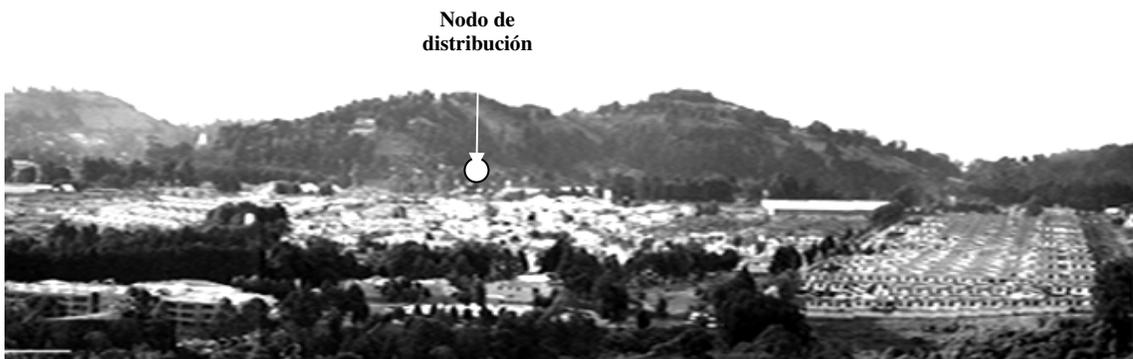
Existen varias tecnologías de transmisión inalámbricas que pueden operar en las bandas sin licenciar de 2.4 Ghz y 5.8 Ghz, la decisión en el tipo de tecnología a implementar recae en escoger aquella que sea lo más compatible con los equipos disponibles de otras marcas en el mercado y la que sea más fácil de adaptar a nuevas tecnologías que se implementen en el futuro.

La tecnología inalámbrica IEEE 802.11b es una tecnología bastante versátil y adaptable. Puede migrar fácilmente a otras tecnologías e incluso coexistir con éstas. El punto será luego decidir qué tipo de tecnología se implementará con éste. Por ejemplo, la más inmediata disponible actualmente es IEEE 802.11g totalmente compatible con el 802.11b, con una tasa de transmisión más alta (54 Mbps) y modulación OFDM. En este caso la viabilidad de la nueva tecnología es inmediata y resulta ser la opción preferencial sobre cualquier otra disponible a la hora de actualizar equipos. Existen otras tecnologías propietarias (no estandarizadas) sobre la misma frecuencia que utilizan FHSS para transmitir, el punto correcto sería escoger los canales de transmisión apropiados para evitar interferencia y poder utilizar ambas tecnologías sobre la misma banda de frecuencia. También existen tecnologías inalámbricas sobre otras frecuencias como el estándar IEEE 802.11a (a 5.8 Ghz) o IEEE 802.16 (Wimax[®] a 5.8 Ghz) las cuales, desde luego, requieren otras antenas y sistemas de montaje. Con el aislamiento apropiado pueden convivir perfectamente con equipos desarrollados en 802.11b.

4 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto que se implementó pretende distribuir Internet como servicio a un número determinado de usuarios finales, en una zona de carácter residencial, cercana a la ciudad. Se toman como consideraciones especiales que la geografía de la zona es primordialmente plana, sin zonas boscosas ni accidentes geográficos apreciables. La mayoría de las casas de los futuros y actuales usuarios se encuentran a alturas similares sin edificaciones particularmente altas que signifiquen en determinados casos una obstrucción a la línea de visión. Los niveles de ruido electromagnético son, en general, bajos; por encontrarse a una distancia apreciable de la ciudad donde los proveedores de radio, servicio de telefonía celular y enlaces de datos representan una apreciable fuente de ruido para los equipos de transmisión. En la figura 15 muestra una vista panorámica de la zona en la que se implementó el proyecto.

Figura 15. Zona de implementación.

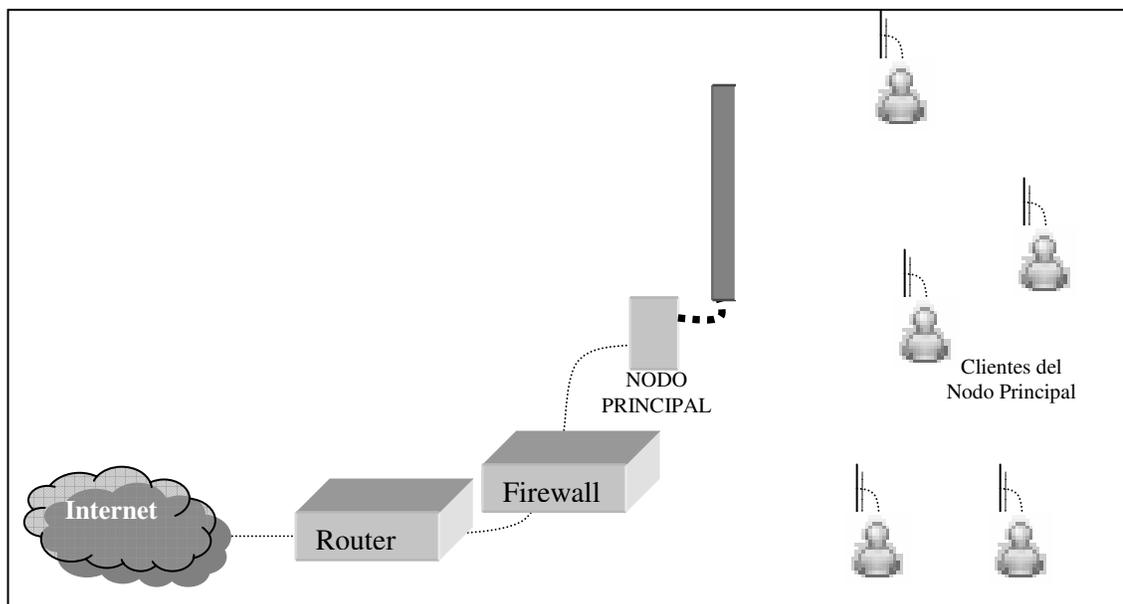


Podemos apreciar que las condiciones descritas en el párrafo anterior, hace que la ubicación de la zona de servicio sea ideal para el tipo de distribución que estamos implementando.

4.1 Descripción de la Arquitectura

La arquitectura seleccionada para el proyecto es la arquitectura punto-multipunto, por tratarse del tipo de arquitectura que permite más usuarios compartir un solo servicio dados los requerimientos de ancho de banda que se desean asignar a cada uno de ellos. También es ideal por cumplirse la condición de tener línea de vista con todos los usuarios del servicio con el nodo o nodos de distribución. Esto desde luego va amarrado a los requerimientos económicos que exige un desarrollo de este tipo, esta es la arquitectura que permite interconectar de modo más barato a un nodo con muchos puntos de usuarios. La figura 16 muestra un diagrama esquemático de la arquitectura implementada.

Figura 16. Esquema de la arquitectura propuesta.



Los clientes acceden a los servicios prestados por la red *ethernet*, a través de la conexión inalámbrica y dentro de los rangos de cobertura de la celda inalámbrica. Los bloqueos de seguridad implementados en el *firewall* son

indispensables debido a la posibilidad de recibir ataques de *hackers*, *virus* y software malintencionado dentro y fuera de la red de acceso. La administración de las conexiones de los clientes se hace a través del equipo inalámbrico y las opciones de tráfico (acceso a páginas o servicios) a través del *firewall*; todo esto puede modificarse desde cualquier conexión de Internet haciendo uso de los IP públicos que el proveedor de servicio de Internet nos asigne a la hora de contratar el servicio.

4.2 Descripción de los Equipos

Los equipos utilizados en la implementación de la distribución pertenecen al grupo de fabricantes de equipo *WIFI Smartbridges* y *Senao*. Se escogieron equipos *Smartbridges* para los nodos de distribución por ser equipos especiales para desarrollo en exteriores en frecuencia de 2.4Ghz siguiendo el estándar IEEE 802.11b, el *chipset* interno permite hasta 26dBm de potencia de salida. Poseen un filtro pasa banda incorporado que los hace más resistentes a ruido provenientes de fuentes de radio frecuencia fuera de la banda de 2.4 Ghz. La hoja de datos puede observarse en los anexos. El mismo equipo también implementa la regulación del ancho de banda. La figura 17 muestra al equipo instalado con su antena externa.

Figura 17. Nodo instalado.



Se escogieron equipos de la marca Senao (CPE) para los clientes finales, son equipos para interiores a los cuales se les retira la antena incorporada, se les coloca un conector, cable coaxial y una antena externa colocada en el techo de las casas de los clientes finales. Internamente contienen también un pequeño filtro pasa banda y una tarjeta PCMCIA con el chipset Senao de 23dBm. La hoja de datos de los equipos puede verse en los anexos. La interfase de salida que interconecta a los clientes es tipo Ethernet 10/100, la más común que poseen las computadoras actuales. La potencia de salida y el filtro pasa banda los hace ideales para compensar las pérdidas por el cableado y rechazar el ruido proveniente de fuentes externas de radio frecuencia. En la figuras 18 y 19 se muestra uno de los equipos con la conexión de cable coaxial y la antena externa instalados.

Figura 18. Equipo del cliente.



Figura 19. Antena externa instalada.



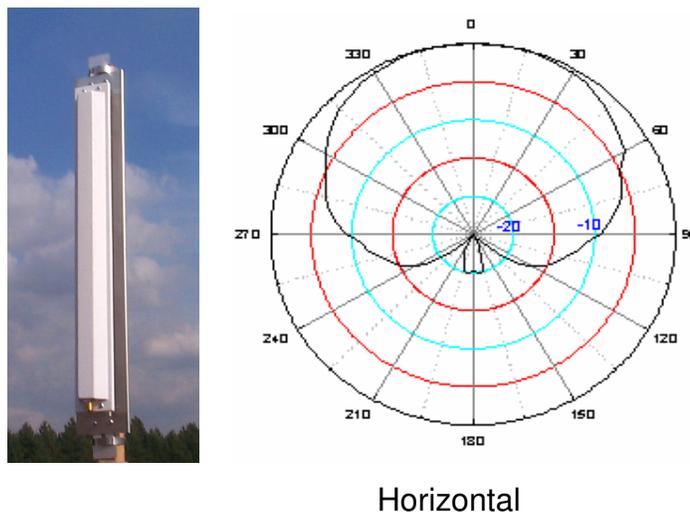
Los equipos seleccionados para implementar la protección contra ataques es un ruteador y *firewall* (muro cortafuegos) Fortinet 100. Este aparato permite hasta 100 usuarios conectados al mismo tiempo. La hoja de especificaciones se muestra en los anexos.

4.3 Descripción de las antenas

Las antenas instaladas en los equipos de los nodos y en los clientes son todas del rango de frecuencias de 2412Mhz a 2485Mhz con polarización horizontal lo que permite un rechazo de 20dBm a las señales de radio frecuencia desarrollados en el mismo rango de frecuencias y polarización vertical, que suelen ser el tipo de desarrollo más común de este tipo.

Las antenas seleccionadas para los equipos de los nodos son antenas sectoriales de 13dBi, impedancia de 50Ω , VSRW típica de 1.5, polarización horizontal con un ángulo de apertura horizontal de 180° y un ángulo de apertura vertical de 15° . La gráfica del patrón de radiación de esta antena se muestra en la figura 20.

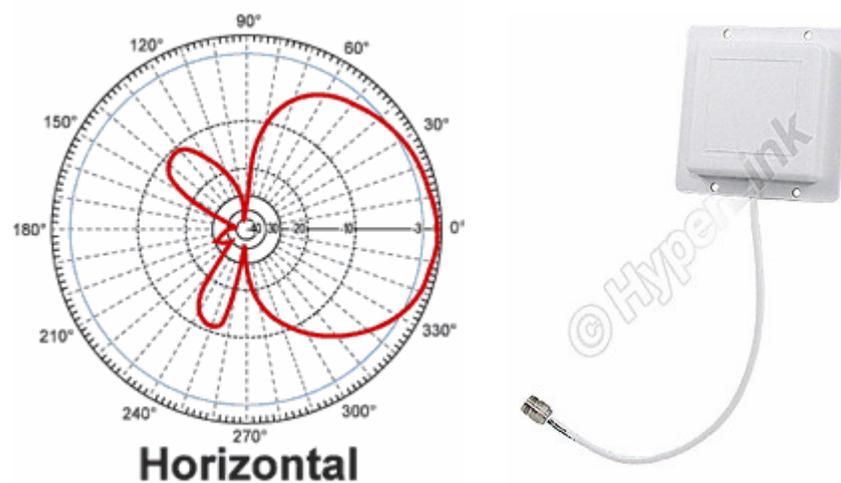
Figura 20. Patrón de radiación de la antena sectorial



Fuente: www.hyperlinktech.com

Las antenas seleccionadas para los clientes son antenas tipo panel de 10dBi, polarización horizontal, impedancia de 50Ω , VSWR típica de 1.5, con un ángulo de apertura horizontal de 45° y un ángulo de apertura vertical de 30° .

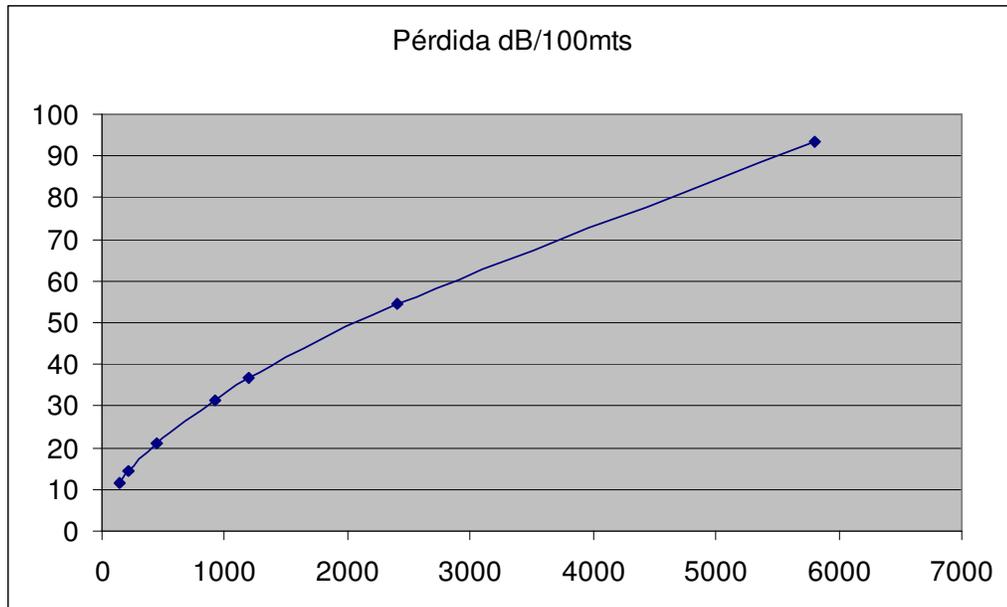
Figura 21. Patrón de radiación de la antena panel.



Fuente: www.hyperlinktech.com

El cable seleccionado para conectar estas antenas se trata de cable coaxial tipo RG6 de 75Ω , lo cual aumenta un poco la VSWR, pero compensa esta pérdida con el precio por metro. Además de ser más barato, tiene menor pérdida por metro a esta frecuencia que el cable tipo RG58 de 50Ω que es el más próximo disponible localmente. Una gráfica de ganancia versus frecuencia puede observarse en la figura 22. La pérdida estimada a 2.4Ghz es de 54.67 dB/100mts; es decir 0.5dB por cada metro de cable utilizado.

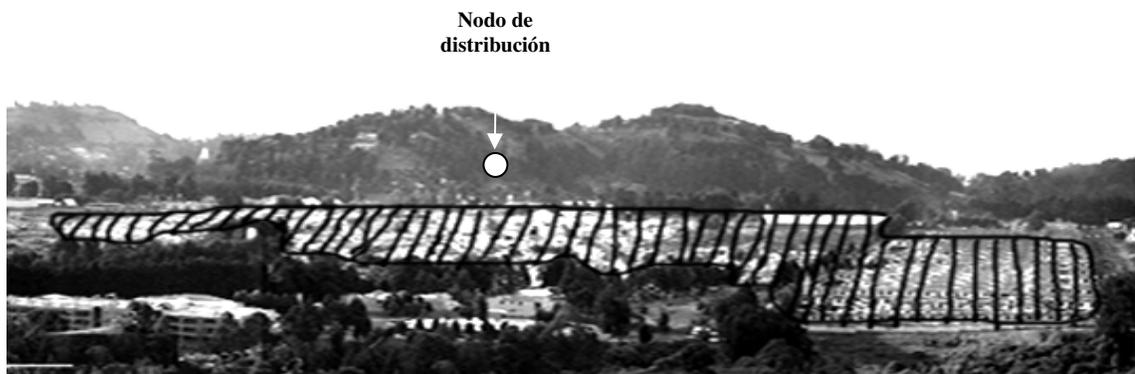
Figura 22. Ganancia versus frecuencia.



4.4 Área de cobertura

El área de cobertura como se explicó en el capítulo anterior depende de la topografía y la relaciones señal a ruido entre los clientes y los nodos. El área de cobertura de la zona en mención es considerablemente amplia debido principalmente a que se tiene una topografía plana y las antenas de los nodos se encuentran en una posición que les permite tener línea de vista con la gran mayoría del terreno a cubrir. En la figura 23, el área marcada corresponde a la zona de cobertura del nodo.

Figura 23. Área de cobertura.



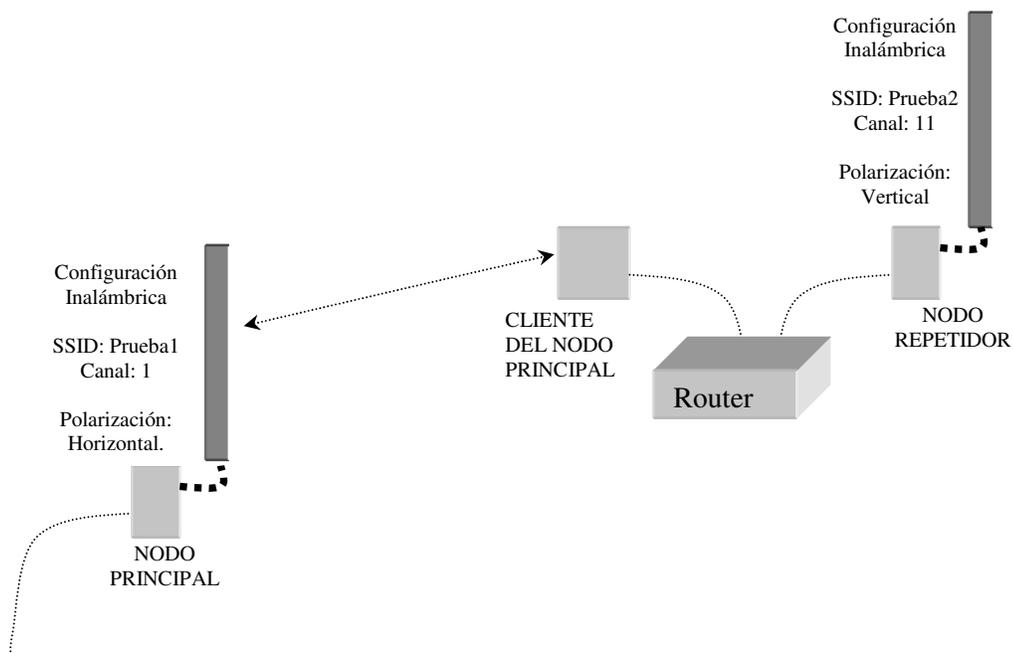
4.4.1 Ampliaciones a las áreas de cobertura (Repetidores)

El problema de la cobertura a distancias grandes puede solucionarse colocando un repetidor en un punto estratégico de la zona que se desea cubrir. Existen dos formas de crear un repetidor: la primera es crear una “extensión” del nodo original, sumando al tráfico que se tiene en el nodo el generado por el repetidor. El segundo es crear un enlace inalámbrico con todo el tráfico corriendo hacia el *backbone*. La forma correcta de implementar éstos repetidores permitirá evitarse muchos dolores de cabeza cuando el número de usuarios y tráfico crezcan.

La forma mas económica es la primera. Actualmente existen muchos equipos que permiten crear estas “extensiones” configurándose en modo repetidor utilizando un protocolo llamado WDS (*Wireless Distribution System* (Sistema de Distribución Inalámbrico por sus siglas en Inglés). El problema de utilizar equipo en WDS es que todo se replica en el repetidor, es decir que actúa en el mismo modo en el cual un *hub* actuaría, replicando los *broadcast* y generando congestión con tráfico no utilizado por los clientes que se encuentran después del repetidor. Otra desventaja es que no se puede cambiar el SSID de la celda que actúa como repetidor, dejando a algunos clientes con dos redes con el

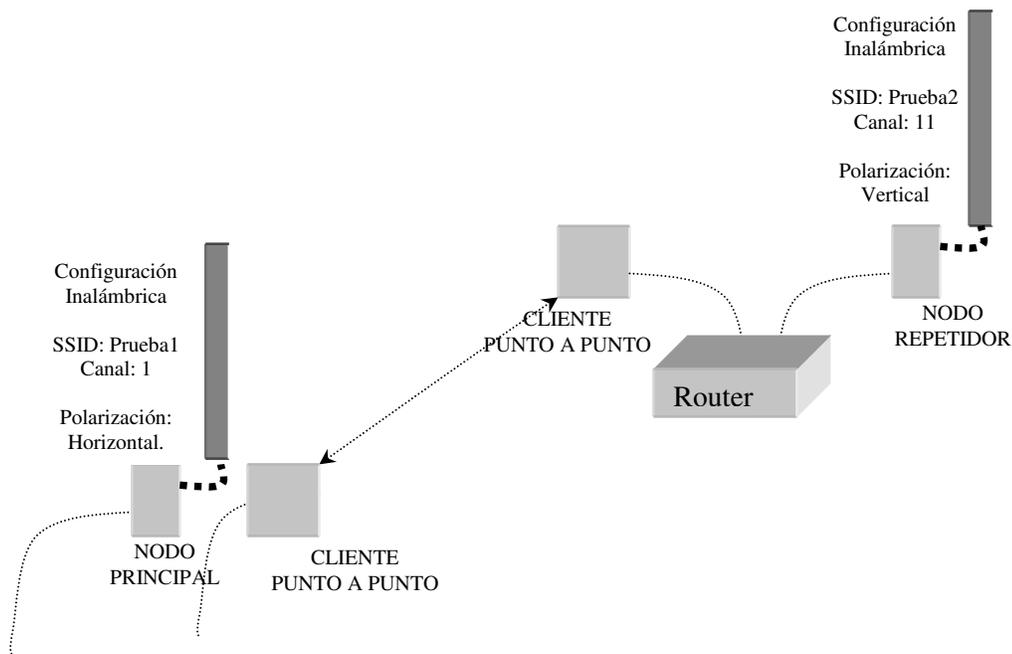
mismo nombre dentro de su rango de visión. Esto genera desconexiones de la celda principal según existan bajas de potencia por parte de uno u otro. Tampoco se puede cambiar el canal de operación, ni aislar la visión de las antenas de los equipos una de otra debido a que la misma antena debe ver a los clientes del repetidor y permanecer en el mismo canal del nodo principal; lo que genera ruido para ambos equipos. Entonces, ¿Cuál es el modo correcto de generar una celda de este tipo? Básicamente se necesitan tres equipos en el repetidor: un equipo que pueda ser cliente de la celda generadora, un router que nos permita separar las redes de la celda y del repetidor y un equipo que funcione como nodo (con SSID, polarización y canales de operación diferentes a la de la celda generadora); un esquema de esta configuración puede verse en la figura 24

Figura 24. Repetidor en cascada.



La segunda forma de hacer un repetidor consiste en colocar un enlace punto a punto del nodo principal hacia el nodo repetidor, el resto de la configuración se haría del mismo modo que la mencionada anteriormente. La diferencia estriba en la capacidad de tráfico del repetidor, ya que de este modo no comparte el tráfico con los clientes del nodo principal. Un esquema de esta configuración puede observarse en la figura 25

Figura 25. Repetidor con enlace independiente.



Los clientes deben estar en canales diferentes a las dos celdas. Debido a que tenemos una selección limitada de canales sin traslape (3 en FCC o 4 si el equipo soporta canal 14) los clientes punto a punto pueden escogerse en banda de 5.8Ghz (802.11a).

4.5 Capacidad de la Red

Cada nodo en la red puede entregar aproximadamente hasta 20 MBps de *throughput* full duplex, lo que permite conectar hasta 120 clientes simultáneos con 167 Kbps cada uno. Esto significa que se pueden instalar más clientes inalámbricos que los que el equipo puede manejar al mismo tiempo: es poco probable que todos los clientes se encuentren conectados al mismo tiempo en un mismo nodo; por lo tanto se puede exceder la capacidad del nodo con el número de clientes y asignar más clientes al nodo de lo que el equipo puede manejar. Siempre se debe de tener cuidado en el diseño y se deben realizar muestreos de radiofrecuencia pues estos valores pueden bajar si los niveles de ruido en el entorno son altos debido a la pérdida de paquetes en el nodo y el esfuerzo adicional que significa para el equipo las retransmisiones de estos paquetes.

4.5.1 Regulación del ancho de banda

La regulación del ancho de banda es un requisito indispensable en un servicio de Internet, la razón es sencilla: el ancho de banda es un recurso limitado y caro. Desde el punto de vista económico es necesario poder repartir los costos del enlace de Internet entre los usuarios finales del servicio y desde el punto de vista técnico, es necesario repartir la capacidad de los equipos para evitar congestión en los equipos de transmisión y de la frecuencia utilizada.

La regulación se logra utilizando una técnica llamada *traffic shapping* (recorte de tráfico) que retrasa la entrega de los paquetes desde y hacia el destino de la información. De este modo se evita que el usuario sobrepase un límite conocido como “umbral” (*threshold*) a partir del cual se comienza a hacer la regulación. Es posible definir diferentes umbrales dependiendo de la ocupación, pero esto también depende de los equipos disponibles para hacer esa regulación. La

opción más justa sería asignar a cada usuario el ancho de banda disponible de forma equitativa lo cual requería saber cuantos usuarios están conectados en determinado instante y dividir el ancho de banda contratado entre el número usuarios. Eso es un poco complejo de implementar y existen pocos dispositivos disponibles en el mercado para realizar esta operación. Sin embargo se pueden hacer cálculos estadísticos basados en el número de usuarios conectados contra las horas del día en el que se tomaron las muestras, y se programa un perfil que se active de determinada hora en adelante. Esta característica sí está disponible en la mayoría de equipos de regulación. En nuestro caso en particular, utilizando el equipo de transmisión podemos programar una entrada en el horario que active el perfil de ancho de banda que queremos aplicar para el usuario o grupo de usuarios a los que se quiere asignar.

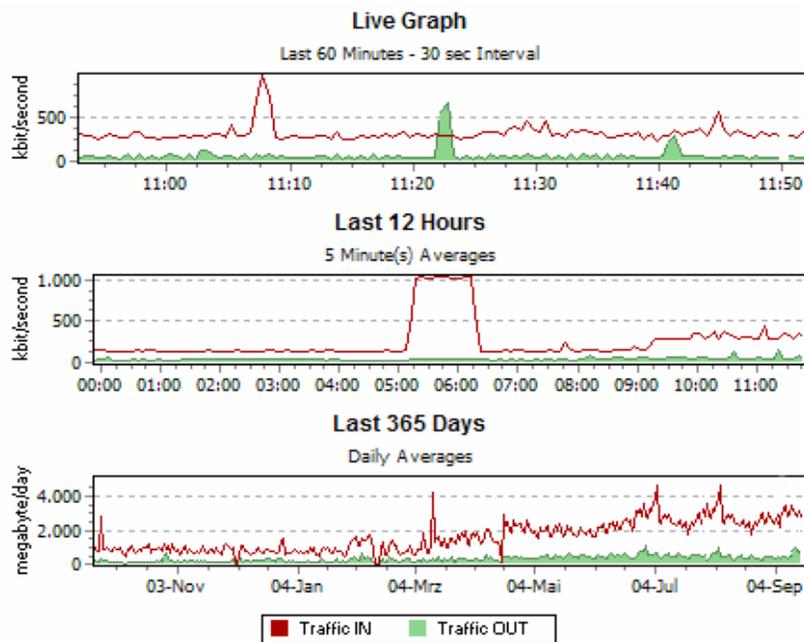
4.6 Calidad, Eficiencia y Monitoreo de los Equipos

Regularmente deben hacerse pruebas de *throughput* para comprobar la calidad de los enlaces de datos inalámbricos y los enlaces de Internet. El proveedor del servicio debe garantizar la disponibilidad del servicio y el ancho de banda contratado, para que el servicio prestado a su vez para los usuarios finales también esté garantizado. En la prestación de un servicio de este tipo (al igual que otros) la no disponibilidad es acumulativa; si el proveedor mayorista de Internet tiene una disponibilidad del 99.5% y el proveedor final del servicio hacia los usuarios tiene una disponibilidad del 99.3%, la disponibilidad total es del 98.8%.

Con el fin de mantener los enlaces en óptimas condiciones operativas se deben realizar chequeos regulares de los nodos, en el cableado, en las terminales las antenas, en los sellos herméticos y en los gabinetes de almacenaje de los equipos de ruteo y *firewall*.

Para realizar el monitoreo de los equipos y clientes existen diferentes herramientas disponibles. La principal es hacer uso del protocolo SNMP. Este protocolo se utiliza para monitorear consumo de ancho de banda en los ruteadores usando un programa de distribución libre llamado PRTG (disponible en www.Paessler.com, una gráfica de los resultados mostrados por el programa puede verse en la figura 26), también se utilizan herramientas desarrolladas por el fabricante del equipo inalámbrico para configurar y monitorear a los clientes vía *WEB*. El acceso a los equipos y a sus herramientas se hace a través de su página de configuración.

Figura 26. Consumo de ancho de banda.



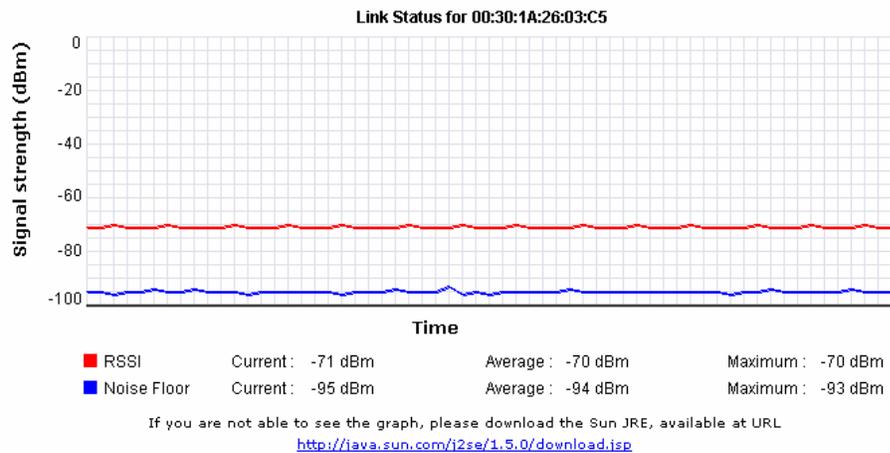
El equipo de transmisión muestra una tabla que contiene el número MAC del equipo inalámbrico conectado al nodo sus datos de potencia recibida (en dBm) y ancho de banda asignado, también dibuja una gráfica con los datos que incluye el nivel de ruido de la zona (figura 27).

Figura 27. Tabla de asociación y calidad de enlace.

Association Table					
Index	MAC Address	RSSI (dBm)	Upload (Kbps)	Download (Kbps)	
1	00:30:1A:26:03:C5	-70	15360	15360	Link Status

Indicates WDS Link **Refresh**

(Data will refresh automatically after every 30 seconds)



4.7 Análisis Económico

En el análisis de rentabilidad tratamos de observar en que cantidad de tiempo el proyecto es rentable, es decir, en que momento empieza a generar ingresos. Vamos a tomar un modelo de punto de equilibrio para que tratemos de encontrar el punto a partir del cual el proyecto sea rentable y una evaluación de la Tasa Interna de Retorno (TIR).

En las tablas III a la VII podemos observar los diferentes rubros de los egresos que se tuvieron en la ejecución del proyecto.

Tabla III. Costo del nodo.

Costo de los equipos	US\$
Costo del nodo	
Access Point Smartbridges	1000
Firewall Fortinet 100	1200
Antena 120º Pol Horizontal	200
Cable y conectores	15
Cableado	50
Instalación de internet corporativo	0
Total celda	2465

Tabla IV. Costo de los clientes.

Costo de los Clientes	US\$
CPE Senao	110
Antena panel pol Horizontal	25
20 mts de cable RG6	5
10 mts de cable UTP	2.5
conectores	3
Total cliente	145.5

Tabla V. Costo por Internet.

Costo del Internet (Aproximados)	cuota mensual US\$	Instalación US\$
256 Corporativo	200	
512 Corporativo	400	200
1Mbps Corporativo	700	200
1.5Mbps Corporativo	1000	200
2 Mbps Corporativo	1300	200
2.5 Mbps Corporativo	1500	200
3 Mbps Corporativo	1700	200

Tabla VI. Costo por recurso humano.

Costo Recurso Humano (mensual)	US\$
Ingeniero de Soporte de Planta	600
Ventas	300
Tecnico de planta	250
Tecnico externo	250
Total RRHH	1400

Tabla VII. Costo por renta.

Costo por Renta (mensual)	US\$
Costo telefónico promedio aproximado (atención al cliente)	200
Alquileres	300
Total Renta	500

En la tabla VIII se muestran los precios correspondientes a la cuota de instalación y la cuota mensual por el servicio.

Tabla VIII. Ingresos.

Ingresos	US\$
Costo de la instalación	80
Cuota mensual	45

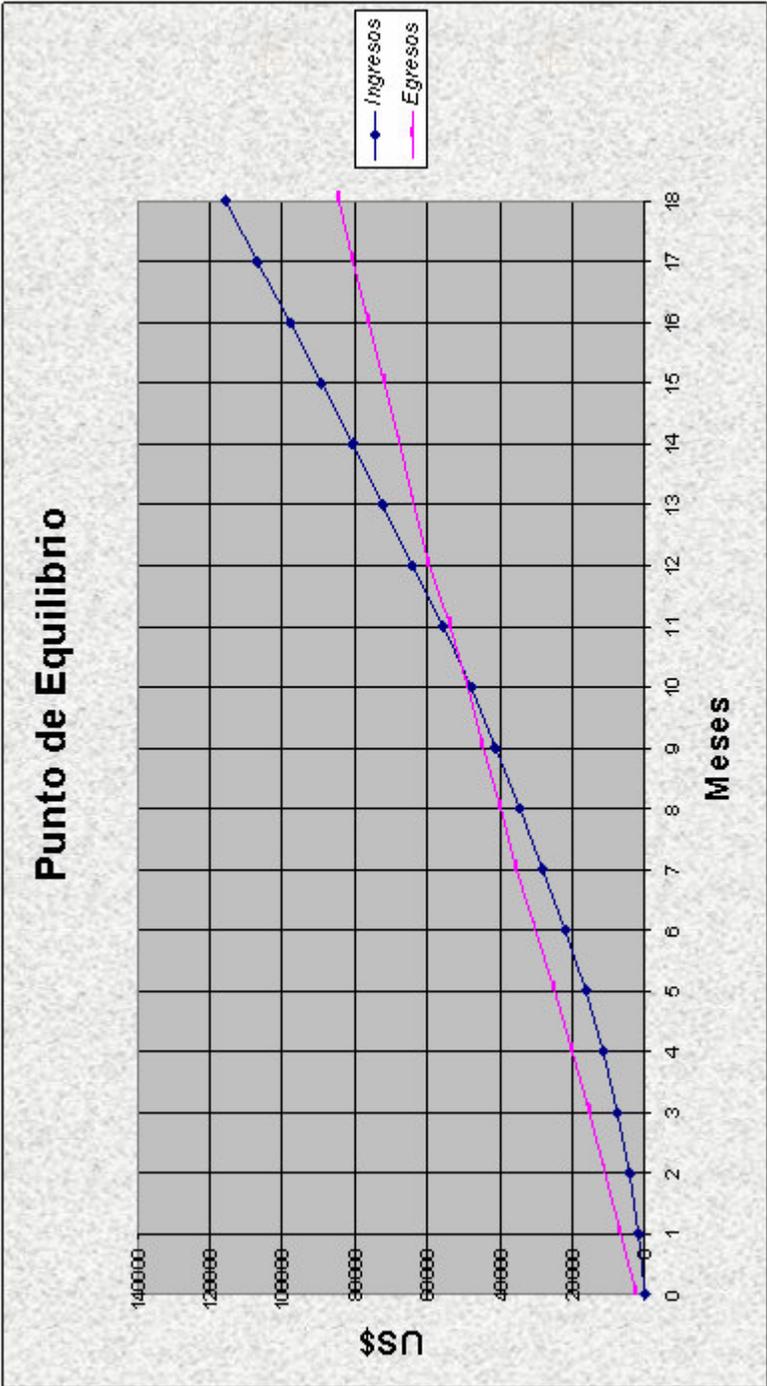
En la tabla IX se muestra la proyección de ingresos y egresos del proyecto en un período de 18 meses. El mes cero (0) corresponde al mes de preparación del nodo, instalación y contratación de servicios.

La TIR resultante después de 18 meses es de 15% como puede observarse en la parte inferior de la tabla IX. Se busca que la TIR sea mayor que el valor de la suma de la tasa pasiva bancaria y la inflación en ese mismo período de tiempo. Según datos del Banco de Guatemala la inflación acumulada correspondiente al año 2005 fue de 8.57% (se espera sea menor en el 2006) la tasa pasiva bancaria en moneda extranjera (2005) fue del 3.04%. Esto suma 11.61% proyectado a 18 meses. El margen aparenta ser bajo, pero también debe tomarse en cuenta que la recuperación del capital invertido es rápida, el punto de equilibrio se logra en 11 meses lo cual es muy bueno. Una gráfica de los datos de punto de equilibrio puede observarse en la figura 28.

Tabla IX: Proyección de Ingresos y Egresos.

Mes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Acumulado en 19 meses	
Ingresos																					
# usuarios nuevos		20	15	15	15	15	15	15	10	10	10	10	10	20	5	5	5	180			
# total de usuarios		20	35	50	65	80	95	110	120	130	140	140	150	170	175	180	180	180	180	180	
Ingresos de instalaciones		1,800.00	1,200.00	1,200.00	1,200.00	1,200.00	1,200.00	1,200.00	800.00	800.00	800.00	800.00	1,800.00	400.00	400.00						14,400.00
Ingresos de cuota mensual		900.00	1,575.00	2,250.00	2,925.00	3,600.00	4,275.00	4,950.00	5,400.00	5,950.00	6,300.00	6,750.00	7,650.00	7,950.00	8,100.00	8,100.00	8,100.00	8,100.00	8,100.00	8,100.00	100,800.00
Ingresos Totales	0	2,500.00	2,775.00	3,450.00	4,125.00	4,800.00	5,475.00	6,150.00	6,200.00	6,650.00	7,100.00	7,550.00	9,250.00	8,275.00	8,500.00	8,100.00	8,100.00	8,100.00	8,100.00	8,100.00	115,200.00
Ingreso Acumulado	0	2,500.00	5,275.00	8,725.00	12,850.00	17,650.00	23,125.00	29,275.00	35,475.00	42,250.00	49,225.00	56,775.00	66,025.00	74,300.00	82,800.00	90,900.00	99,000.00	107,100.00	115,200.00		
Egresos																					
Celda	2465.00																				2465.00
Instalaciones		290.00	2182.50	2182.50	2182.50	2182.50	2182.50	2182.50	1455.00	1455.00	1455.00	1455.00	2910.00	727.50	727.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26190.00
Internet		200.00	200.00	400.00	400.00	700.00	700.00	1000.00	1000.00	1300.00	1300.00	1500.00	1500.00	1500.00	1700.00	1700.00	1700.00	1700.00	1700.00	1700.00	20200.00
Renta		500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	9000.00
RHH		300.00	1400.00	1400.00	1400.00	1400.00	1400.00	1400.00	1400.00	1400.00	1400.00	1400.00	1400.00	1400.00	1400.00	1400.00	1400.00	1400.00	1400.00	1400.00	25200.00
Egresos Totales	2765.00	5710.00	4262.50	4462.50	4462.50	4762.50	4762.50	5062.50	4955.00	4955.00	4655.00	4655.00	6310.00	4127.50	4297.50	3800.00	3800.00	3800.00	3800.00	3800.00	83355.00
Egreso Acumulado	2765.00	7775.00	12567.50	16540.00	21022.50	25905.00	30897.50	35870.00	40255.00	44680.00	46555.00	51490.00	63601.00	64627.50	68655.00	72655.00	76155.00	79755.00	83355.00		
Flujo de fondos neto	-2765.00	-510.00	-1507.50	-1032.50	-357.50	17.50	692.50	1087.50	1645.00	1945.00	2445.00	2895.00	2940.00	4147.50	4172.50	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	31645.00
Flujo de fondos acumulado	-2765.00	-5275.00	-6782.50	-7815.00	-8172.50	-8165.00	-7462.50	-6395.00	-4650.00	-2565.00	-110.00	2585.00	5525.00	9672.50	13845.00	18345.00	22845.00	27345.00	31845.00	36345.00	
Tiempo estimado de recuperación (11 meses)																					
TIR (18 meses)																					15%

Figura 28. Punto de equilibrio.



CONCLUSIONES

1. Una Red Inalámbrica de Área Metropolitana, es un conjunto de equipos de datos interconectados por medio de ondas electromagnéticas, abarcando un área que se puede extender hasta algunas decenas de kilómetros.
2. La arquitectura Punto-Multipunto, es la arquitectura inalámbrica que permite a un mayor número de usuarios compartir los mismos recursos a un costo más bajo; en el caso de Internet, que no necesita intercomunicación entre los usuarios, es la arquitectura inalámbrica que mejor aprovecha el medio para lograr la transmisión del servicio.
3. El estudio previo a la instalación del equipo inalámbrico del nodo es la parte más importante del diseño de la red, porque a partir de este punto se determinarán las zonas de cobertura del nodo en base a la topografía y niveles de ruido de RF presentes en el sitio.
4. La selección correcta de las antenas permite lograr los niveles de SNR, necesarios, para establecer un radio enlace de buena calidad.
5. La regulación del ancho de banda es clave para lograr repartir los costos del enlace de Internet entre los usuarios y para evitar la congestión de los equipos de transmisión.

6. La red se puede expandir para aumentar su capacidad de tráfico, para cubrir zonas geográficas más amplias o ambas, agregando puntos de acceso en el mismo sitio o colocándolos en puntos estratégicos por medio de repetidores.
7. Por medio de la supervisión constante de los equipos, se conserva el rendimiento de la red; poniendo atención especialmente a los niveles de ruido de RF presentes en él o los sitios y haciendo los cambios de canal necesarios para evitar interferencia, también es importante la revisión periódica de los sellos herméticos en gabinetes y conectores.
8. Una Red Inalámbrica de Área Metropolitana utilizando el protocolo 802.11b, es un medio práctico y de bajo costo para distribuir Internet en zonas geográficas con bajos niveles de ruido electromagnético, primordialmente plana, sin zonas boscosas, edificios ni accidentes geográficos apreciables.

RECOMENDACIONES

1. Al diseñar una WMAN se debe tomar en cuenta los niveles de ruido electromagnético presentes en la zona, de otro modo se verá afectado el desempeño general de la red.
2. En la elección de la arquitectura inalámbrica, la arquitectura punto multipunto es la más adecuada para proveer servicio de Internet.
3. El uso de antenas con polarización horizontal en los equipos clientes y nodos, ayuda a aumentar la SNR de los enlaces.
4. En la instalación de cualquier equipo inalámbrico, es importante tomar en cuenta el aislamiento contra el agua y humedad, poniendo especial atención a los conectores en antenas y puntos de red.
5. Al proveer un servicio de Internet a un número de usuarios determinado, es muy importante realizar regulación de ancho de banda y organizarlo de acuerdo al consumo, según las horas del día y los usuarios conectados para aprovechar al máximo el enlace de Internet del proveedor mayorista.

6. En el diseño del repetidor, no debe despreciarse el efecto de los *broadcast* sobre el tráfico de la red; por lo que se hace necesaria la instalación de un *router* en el camino entre el punto de acceso del repetidor y el enlace de datos hacia el nodo principal.

7. Se debe tomar en cuenta el monitoreo de los equipos principales y de los clientes en el diseño de la red y en la selección de los equipos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alcatel. **“Tecnologías y actividades de estandarización para la interconexión de Home Networks”**. Para fundación AUNA. www.fundacionauna.com/areas/26_estudios/pdf/2.pdf, 2004.
2. **Banco de Guatemala**
<http://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=indicadores/gra011&e=263>, 2006.
3. Conover, Joel **“Anatomy of IEEE 802.11b Wireless”**
<http://www.networkcomputing.com/1115/1115ws2.html>, 2000.
4. **D-Link**
<http://www.dlink.com/products/resource.asp?pid=292&rid=918&sec=0>, 2005.
5. Fortigate. www.fortigate.com, 2006.
6. Gast, Matthew **“802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide”**. Segunda Edición, O’reilly Press, Estados Unidos, 2002.

7. **Intel Corporation**
<http://www.intel.com/netcomms/technologies/wimax/>, 2005.
<http://www.intel.com/netcomms/technologies/wimax/304471.pdf>, 2005.
http://www.intel.com/standards/case/case_802_11.htm, 2005.
<http://www.intel.com/technology/magazine/standards/st08031.pdf>, 2005.
8. Kanoksri Sarinnapakorn "**High Rate Wireless Local Area Networks**"
<http://umsis.miami.edu/~ksarinna/IEEE80211b.html>, 2001.
9. Lawrey, Eric. "**The suitability of OFDM as a modulation technique for wireless telecommunications, with a CDMA comparison**"
www.skydsp.com/resources/Thesis_Eric_Lawrey_OFDM_vs_CDMA_old.pdf, 1997.
10. **Madrid Wireless.** <http://madridwireless.net/>, 2004.
11. **Senao.**
http://www.senao.com/english/product/product_wireless01_all.asp, 2005.
12. **Smartbridges.** <http://www.smartbridges.com>, 2005.
13. **Superpass.** <http://www.superpass.com>, 2005.
14. **Telefónica.**
<http://www.telefonicaonline.com/on/es/micro/cursos/wifi/indice.htm>, 2004.

15. **Toaster community.**
<http://www.toaster.net/wireless/community.html>, 2004.
16. Unger, Jack “**Deploying License-Free Wireless Wide Area Networks**” Cisco Press. Indianapolis, Estados Unidos. 2003.
17. **Wikipedia.** www.es.wikipedia.org, 2006.
18. **Wimax Forum:** <http://www.wimaxforum.org/home/>, 2005.
19. **Zaragoza Wireless.** <http://www.zaragozawireless.org>, 2004.

Anexos

airPoint Nexus [sB3210] Technical Specifications

RADIO PARAMETERS

Radio Frequency Bands Unlicensed ISM and UNII bands

2.400 - 2.485 GHz, 5.250 - 5.350, 5.470 - 5.725, 5.725 -5.875 GHz

*Wireless Modulations COFDM with BPSK, QPSK, 16 QAM, 64QAM
Modulation*

DSSS with CCK, BPSK, QPSK Modulation

*Self-adapting modulation to maintain optimal link performance under
different environmental conditions*

Data Rates 54, 48, 36, 24, 18, 12, 9 and 6 Mbps (5.x GHz)

54, 48, 36, 24, 18, 12, 9, 6, 11, 5.5, 2 and 1 Mbps (2.4 GHz)

*Typical Transmit Output Power at the +24 to -4 @ 1 Mbps, +21 to -4 @
54 Mbps (2.4 GHz)*

*External N connector (dBm) +21 to -4 @ 6 Mbps, +18 to -4 @ 54 Mbps
(5.x GHz)*

*Typical Receive sensitivity at the -97 @ 1 Mbps, -73 @ 54 Mbps (2.4
GHz)*

External N connector (dBm) -91 @ 6 Mbps, -69 @ 54 Mbps (5.x GHz)

Self-adapting, depending on the radio modulation

*RF Interference Mitigation TPC/DFS[^] (IEEE 802.11d/h), Tight Spectral
Mask, Multi-band, Squelch control*

*RF Channels 23 non-overlapping channels**

*Wireless System Gain Varies with radio modulation and frequency band
selection.*

Wireless Error Correction FEC, ARQ

OPERATIONAL PARAMETERS

Standards Compliance IEEE 802.11b/g, 802.11a and sB Enhanced mode

Recommended Max Link Distance FCC 5.8 GHz: 10 miles (16 km) using 17 dBi APAntenna and 23 dBi CPE Antenna

FCC 2.4 GHz: 10 miles (16 km) using 14 dBi APAntenna and 17 dBi CPE Antenna

Operating Modes Fully transparent Bridge, Router or NAT

Typical Useful Throughput Up to 15 Mbps

Data Throughput Turbo Booster Compression for high spectral efficiency

Clients Supported Up to 128 clients per radio (Available shared

Bandwidth <15 Mbps)

Bandwidth Management MAC based management for upstream and downstream rates on wireless interface

Calendar Function Time-of-day based service profiles for managing different SLA

NETWORK MANAGEMENT AND SECURITY

Data Security Wi-Fi Protected Access^ (WPA - IEEE 802.11i), 64/128 bit WEP

Client Privacy Block client to client communication for ensuring privacy

Network Redundancy Spanning Tree Protocol (IEEE 802.1d)

VLAN Passthrough

External RADIUS Support Authentication and Bandwidth Control

Layer 3 Routing RIPv2

High Availability System Self-monitoring and auto-recovery

WatchGuard with Hardened Linux OS.

Redundancy for Ethernet ports.

Network Support DHCP Server, Relay and Client, NTP Client, PPPoE

Relay Agent

Wireless Network Access Control MACAuthentication

Management Utilities Link test, remote wireless firmware upgrade,

Link Budget calculator,

*Device Discovery tool,
Radio and Ethernet Traffic Statistics,
Configurable Syslog reports and SNMP traps
Management Interface Web and SNMP based management, SNMP v2c
(MIB II compliant)
Network Management System (NMS) Easy integration with 3rd party
NMS.
Application note and scripts available for MRTG.*

PHYSICAL, ENVIRONMENTAL AND COMPLIANCE PARAMETERS

*Network Connection Dual IEEE 802.3 compliant 10/100 BaseT with Auto
MDI/MDX, lightning surge protected.
Power output on 2nd Ethernet port for daisy chaining.
External Antenna Connection Two N (Female) Bulkhead Connectors (50
Ohm)
PoE Injector PRO (Included) [sB2840] Built-in lightning surge protection.
Remote radio hardware reset capability.
Rated for outdoor use (sheltered).
www.smartbridges.com/products/poeinexus.asp
Mounting Accessory (Included) Complete mounting kit for installation on
wall or pole
Power Consumption 48V, 200mA (9.6W), with Power over Ethernet (PoE)
Injector
Power Adapter (Included) Input: 100V to 240V AC, 50-60 Hz
Output: 48V DC, 27 Watts
Indoor rated
LED Indicators Ultra bright LEDs for outdoor viewing of RF and Ethernet
activity.*

Motherboard Purpose built for harsh environments; extended temperature range electronics,

ESD and electrical overstress protection.

Radio Operating Environment -50°F to +140°F (-45°C to +60°C)

5% to 95% non-condensing humidity; outdoor rated

Enclosure Plenum-rated metal enclosure, Wall/Pole mounting brackets

Dimensions and Weight (Shipping) 11.5" x 11" x 4.5" (292 x 279 x 114 mm), approx. 7.28 lbs (3.3 kg)

Certification USA: FCC 47 CFR Part 15C, Section 15.247, 15.407 - FCC ID: PWG NEXUS1 and NEXUS2

Europe: ETSI 301 893, CE Marked, WEEE compliance

Canada: RSS 139

Fuente: www.smartbridges.com/support/nexus.html

Technical Specifications Senao 2611CB3 PLUS (Deluxe)

Data Rates

1, 2, 5.5, 11 Mbps

Standards

IEEE802.11b, IEEE802.3,

IEEE802.3u

Compatibility

IEEE 802.11g/ IEEE 802.11b

compliant

Power Requirements

Power Supply: 90 to 240

VDC ± 10mV (depends on different countries)

Device: 12 V/ 1A

Status LEDs

LAN: Link, WLAN: Link,

Power: on/off

Regulation Certifications

FCC Part 15/UL, ETSI

300/328/CE

RF Information

Frequency Band

2.400 ~ 2.484 GHz

Media Access Protocol

Carrier Sense Multiple

Access with Collision

Avoidance (CSMA/CA)

Modulation Technology

Direct Sequence Spread
Spectrum (DSSS)

11 Mbps / 5.5 Mbps: CCK

2 Mbps: DQPSK

1 Mbps: DBPSK

Operating Channels

11 for North America, 14 for
Japan, 13 for Europe,
2 for Spain, 4 for France

Receive Sensitivity (Typical)

-94dBm @ 1Mbps

-86dBm @ 11Mbps

**Available transmit power
(Typical)**

21 ± 2dBm @1, 2, 5.5 and
11Mbps (Depend on
Different Countries'
Regulation)

RF Connector

TNC Type (Female Reverse)

Networking**Topology**

Ad-Hoc, Infrastructure

Operation Mode

Point-to-Point/ Point-to-
Multipoint Bridge/ AP/ Client
Bridge

Interface

One 10/100Mbps RJ-45 LAN
Port

Security

MAC address filtering

WEP encryption (64/128 bit)

Hide SSID in beacons

Layer 2 Isolation

IP Auto-configuration

DHCP client/server

Management**Configuration**

Web-based configuration
(HTTP)

Firmware Upgrade

Upgrade firmware via
webbrowser

Physical**Dimensions (HxWxD)**

125(L)mm * 108(W)mm *
31(H)mm

4.9 (L)in* 4.3(W)in * 1.2(H)in

Weight

350 g (0.8 lb.)

Environmental**Temperature Range**

Operating: -10 °C to 45 °C
(14 °F to 113 °F) -

Storage: -40 °Cto 70 °C (-40 °F
to 158 °F)

Humidity (non-condensing)

5%~95% Typical

Package Contents

One Multi-Client Bridge/AP

One Power Adapter

One CAT5 UTP Cable

One Quick Start Guide

One CD-ROM with User's

Manual

Related Product(s)

11g Wireless Cardbus Adapter

3054CB+ Aries2

SPC-362

11b High-power Wireless

PCMCIA Adapter

2511CD PLUS

11g High-power Client Bridge

3054CB3+ (Deluxe)

11b Outdoor AP/ Router

2511HS+

2511BG+

Fuente: http://www.senao.com/english/product/product_wireless01_all.asp

Figura 29. Hoja de datos *Fortigate 100A*.

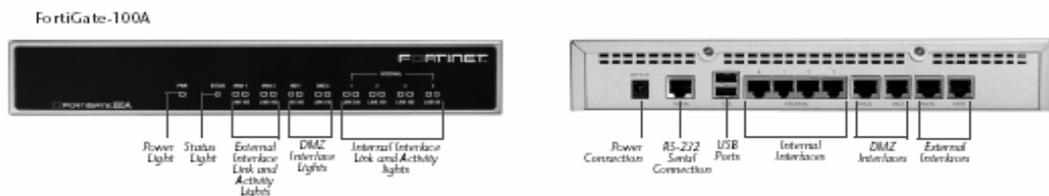
FORTIGATE SOHO / BRANCH OFFICE SERIES

FORTIGATE-100A

Key Features & Benefits

Feature	Description	Benefit
Network-based Antivirus (ICSA Certified)	Detects and eliminates viruses and worms in real-time. Scans incoming and outgoing email attachments (SMTP, POP3, IMAP) and all FTP and HTTP traffic including web-based email — without degrading Web performance	Closes the vulnerability window by stopping viruses and worms before they enter the network
Dynamic Intrusion Detection and Prevention (ICSA Certified)	Detection and prevention of over 1300 intrusions and attacks, based on user-configurable thresholds. Automatic update of IPS signatures from FortiProtect Network.	Stops attacks that evade conventional antivirus products, with real-time response to fast-spreading threats
Firewall (ICSA Certified)	Powerful stateful inspection firewall	Certified protection, maximum performance and scalability
Web Content Filtering	Processes all Web content to block inappropriate material and malicious scripts	Assures improved productivity for enterprise and regulatory compliance for CIPA-compliant educational institutions
VPN (ICSA Certified)	Industry standard IPsec, PPTP, and L2TP VPN support	Provide secure communication tunnels between networks and clients
Remote Access	Supports secure remote access from any PC equipped with FortiClient Host Security software	Low cost, anytime, anywhere access for mobile and remote workers and telecommuters
Dual WAN Interfaces	Two WAN interfaces provide support for two separate connections to the Internet	Built-in failover and redundancy when one Internet connection goes down, the other automatically takes over all sessions
USB Expansion Ports	USB ports can support future enhancements including dial-up or broadband modems	Expandability, investment protection
Built-in 4-Port Switch	Integrated switch with four 10/100 ethernet ports for directly connecting network devices	Eliminates the need for an external switch or hub

System Specifications



Fuente: www.fortigate.com