

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY®**

"Patrón de Diseño de una WLAN para que Soporte Voz sobre IP (VoIP) y Datos"

Autor

LIZZIE EDMEA NARVÁEZ DÍAZ

**Sometido al Programa de Graduados en Informática y Computación en
cumplimiento parcial con los requerimientos para obtener el grado de
Maestro en**

CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

Asesor

Dr. JESÚS ARTURO PÉREZ DÍAZ

Cuernavaca, Morelos. Octubre 2006.

Patrón de Diseño de una WLAN para que Soporte Voz sobre IP (VoIP) y Datos

Presentada por:

Lizzie Edmea Narvárez Díaz

Aprobada por:

Dr. Jesús Arturo Pérez Díaz

Profesor - Investigador,
ITESM Campus Cuernavaca
Asesor de Tesis

MC. Francisco Alejandro González Horta

Profesor - Investigador,
ITESM Campus Cuernavaca
Sinodal

MC. Carlos Felipe García Hernández

Investigador,
Instituto de Investigaciones Eléctricas
Sinodal

Dedicatorias

A mi madre, quien siempre estuvo pendiente de mí y de mis hijos durante todo este tiempo, por su apoyo y amor incondicional.

A Paco, por tener la paciencia y serenidad de estar sin nosotros, valió la pena el sacrificio de estar separados.

A Rafael y Andrea, mi principal motor y por quien hago todas las cosas, gracias bebés, los amo intensamente.

Agradecimientos

A Dios, por darme la vida, sabiduría y fuerza necesaria para llegar hasta este momento tan importante en mi vida profesional.

A toda mi familia, gracias por tenerme siempre en sus oraciones ya que es lo que me ha permitido llegar hasta el final sin contar con su presencia física.

A mi asesor de tesis, por brindarme el tiempo, apoyo y paciencia necesaria para concluir este proyecto.

A mis revisores, por el tiempo dedicado y por los comentarios para enriquecer esta tesis.

A todas aquellas personas que directa e indirectamente me ayudaron de forma especial a realizar las pruebas necesaria en todo este proyecto.

Índice de Contenido

Índice de Contenido	i
Índice de Figuras	iv
Índice de Tablas	v
Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del Problema.....	4
1.3 Objetivo General.....	5
1.3.1 Objetivos Específicos.....	5
1.4 Alcances y Limitaciones.....	6
1.5 Metodología de Desarrollo.....	6
1.6 Descripción Breve de los Capítulos.....	7
Capítulo 2. Fundamentos de WLANs, VoIP y QoS	9
2.1 Introducción a las WLAN.....	9
2.2 Estándares del IEEE para WLANs.....	11
2.2.1 IEEE 802.11.....	12
2.2.2 IEEE 802.11b.....	15
2.2.3 IEEE 802.11a.....	17
2.2.4 IEEE 802.11g.....	18
2.2.5 IEEE 802.11n.....	20
2.2.6 Conclusiones de los Estándares 802.11a, 802.11b, 802.11g y 802.11n.....	22
2.3 Topologías de WLANs – Modos de Operación.....	23
2.3.1 Infraestructura estándar.....	24
2.3.1.1 BSS.....	24
2.3.1.2 ESS.....	24
2.3.2 Ad Hoc.....	25
2.4 Voz sobre IP.....	26
2.4.1 Terminales o Clientes.....	27
2.4.2 Servidores de Voz.....	28
2.4.3 Gateways.....	29
2.4.4 Protocolos.....	29
2.4.5 Codecs.....	33
2.5 Calidad de Servicio QoS.....	36
2.5.1 Medidas del Desempeño de una Red.....	37
2.5.2 Protocolos de Importancia de QoS.....	41
2.6 Modelos para el Patrón de Diseño.....	43
2.7 Estado Actual.....	44

Capítulo 3. Procedimiento para Diseñar una WLAN que Soporte VoIP y Datos con los Estándares 802.11b y 802.11g.....	47
3.1 Introducción	47
3.2 Procedimiento para Diseñar una WLAN que Soporte VoIP y Datos.....	48
3.2.1 Determinar el Volumen Físico de cobertura.....	50
3.2.2 Verificar la Razón Señal – Ruido (SNR) de los Puntos de Acceso.....	50
3.2.3 Determinación y Verificación de la Relación Velocidad – Distancia.....	51
3.2.3.1 Determinar la Ubicación de los Clientes.....	53
3.2.4 Determinar el Número de Puntos de Acceso.....	53
3.2.5 Considerar la Atenuación de la Señal por Obstáculos.....	53
3.2.6 Determinar las Posibles Pérdidas de Potencia.....	54
3.2.7 Determinar la Disposición de los Canales.....	55
3.2.8 Transmisión y Recepción a Potencias Idénticas.....	55
3.2.9 Garantizar como Máximo un 45% de Utilización del Canal de un Punto de Acceso.....	56
3.2.10 Obtener el Rendimiento Real de la Red.....	56
3.2.11 Determinar el Número de Clientes para Voz y Datos.....	57
3.2.12 Realizar Pruebas de no Interferencia de Otras Redes.....	58
3.2.13 Ajustes del Área de Cobertura para Evitar Interferencias.....	58
3.3 Gráfica Inicial de Diseño del Estándar 802.11b	58
3.4 Gráfica Inicial de Diseño del Estándar 802.11g	59
Capítulo 4. Implementación y Análisis de Resultados de las Pruebas.....	61
4.1 Implementación.....	61
4.1.1 Hardware.....	61
4.1.2 Software.....	63
4.1.3 Elementos de VoIP Necesarios para la Implementación del Procedimiento	64
4.1.3.1 Terminales o Clientes.....	64
4.1.3.2 Servidores de Voz.....	65
4.1.3.3 Protocolos.....	67
4.1.3.4 Codecs.....	67
4.1.4 Diseño de la Red con Base al Procedimiento Propuesto.....	67
4.1.4.1 Determinar el Volumen Físico de Cobertura.....	68
4.1.4.2 Verificar la Razón Señal – Ruido (SNR) de los Puntos de Acceso.....	69
4.1.4.3 Determinación y Verificación de la Relación Velocidad – Distancia.....	71
4.1.4.3.1 Determinar la Ubicación de los Clientes.....	73
4.1.4.4 Determinar el Número de Puntos de Acceso.....	73
4.1.4.5 Considerar la Atenuación de la Señal por Obstáculos.....	73
4.1.4.6 Determinar las Posibles Pérdidas de Potencia.....	73
4.1.4.7 Determinar la Disposición de los Canales.....	74
4.1.4.8 Transmisión y Recepción a Potencias Idénticas.....	74

4.1.4.9 Garantizar como Máximo un 45% de Utilización del Canal de un Punto de Acceso.....	74
4.1.4.10 Obtener el Rendimiento Real de la Red.....	76
4.1.4.11 Determinar el Número de Clientes para Voz y Datos.....	79
4.1.4.12 Realizar Pruebas de no Interferencia de Otras Redes.....	84
4.1.4.13 Ajustes del Área de Cobertura para Evitar Interferencias.....	85
4.2 Análisis de Resultados de las Pruebas Realizadas.....	85
Capítulo 5. Conclusiones y Trabajos Futuros.....	89
5.1 Conclusiones.....	89
5.2 Trabajos Futuros.....	92
Referencias.....	93
Anexos.....	96
Anexo A – Guía de la Prueba.....	96
Anexo B – Hoja de Calificación de la Prueba.....	99
Anexo C – Análisis de las Llamadas con los Puntos de Acceso Cisco.....	103
Anexo D – Análisis de las Llamadas con los Puntos de Acceso 3COM.....	105
Anexo E – Explicación de la forma de Garantizar como Máximo un 45% de Utilización del Canal de un Punto de Acceso.....	107

Índice de Figuras

Número de Figura	Título	Página
1.1.1	Transmisión de datos, voz y fax.....	1
1.1.2	Transmisión de datos, voz y fax con VoIP.....	2
1.1.3	Teléfono IP.....	3
1.1.4	Red inalámbrica de área local.....	4
2.2.1.1	Modelo OSI para WLANs.....	14
2.2.2.1	Canales de frecuencia de la banda 2.4 GHz.....	15
2.2.2.2	Distribución de canales de frecuencia.....	16
2.2.2.3	Velocidades teóricas de un punto de acceso 802.11b.....	16
2.2.3.1	Banda de frecuencia de 5 GHz UNII.....	17
2.2.3.2	Velocidades teóricas de un punto de acceso 802.11a.....	18
2.2.4.1	Velocidades teóricas de un punto de acceso 802.11g.....	19
2.2.5.1	Punto de acceso con tecnología Pre-N.....	20
2.2.5.2	Forma de operación de MIMO	21
2.3.1.1.1	Basic Set Service.....	24
2.3.1.2.1	Extended Set Service.....	25
2.3.2.1	Ad Hoc.....	26
2.4.1	Red básica de cuatro teléfonos.....	26
2.4.1.1	Teléfonos IP.....	28
2.4.4.2	Elementos de una red para VoIP.....	33
2.5.1.1	Retraso extremo a extremo.....	38
2.5.1.2	Variación del tiempo de llegada de un paquete.....	39
3.2.1	Procedimiento de diseño para los estándares 802.11b y 802.11g..	49
3.2.7.1	Distribución de canales de frecuencia.....	55
3.3.1	Modelo para el estándar 802.11b.....	59
3.4.1	Modelo para el estándar 802.11g.....	60
4.1.1.1	Distribución de canales en los AP.....	62
4.1.1.2	Plano principal del Campus con la ubicación física de los AP, Switch y Servidores.....	63
4.1.3.1.1	Pantalla principal del eyeBeam y X-Lite de Xten.....	65
4.1.3.2.1	Pantalla del Asterisk ejecutándose.....	66
4.1.4.1.1	Diagrama de la red en el estándar 802.11b.....	68
4.1.4.1.2	Diagrama de la red en el estándar 802.11g.....	69
4.1.4.11.1	Flujo de las llamadas.....	79

Índice de Tablas

Número de Tabla	Título	Página
2.2.1.1	Tabla de estándares variantes del 802.11.....	13
2.2.5.1	Comparación de las velocidades de transferencia del estándar 802.11	20
2.2.5.2	Características del estándar 802.11 pre-N	21
2.2.6.1	Comparación de los estándares 802.11 a, b, g y n.....	23
2.2.6.2	Cuadro comparativo de estándares.....	23
2.4.4.1	Ejemplos de direcciones SIP.....	31
2.4.5.1	Características de algunos codecs.....	35
3.2.4.1	Velocidades teóricas crudas del estándar 802.11b.....	52
3.2.4.2	Velocidades teóricas crudas del estándar 802.11g.....	52
3.2.5.1	Pérdida en dB a través de diferentes tipos de materiales.....	53
3.2.5.2	Obstáculos y atenuación de la señal.....	54
3.2.8.1	Potencia de transmisión.....	55
4.1.1.1	Datos de la red.....	62
4.1.4.2.1	SNR alcanzado para las pruebas con el estándar 802.11b.....	70
4.1.4.2.2	SNR alcanzado para las pruebas con el estándar 802.11g.....	70
4.1.4.4.1	Resultados de las velocidades para el estándar 802.11b.....	72
4.1.4.4.2	Resultados de las velocidades para el estándar 802.11g.....	72
4.1.4.9.1	Valores del 45% de utilización de un AP, estándar 802.11b.....	75
4.1.4.9.2	Valores del 45% de utilización de un AP, estándar 802.11g.....	75
4.1.4.10.1	Resultados de la transferencia de archivos estándar 802.11b.....	77
4.1.4.10.2	Resultados de la transferencia de archivos estándar 802.11g.....	77
4.1.4.10.3	Porcentajes de los publicados por la teoría que se alcanzaron en el experimento de la transmisión de archivos.....	78
4.1.4.10.4	Resultados obtenidos versus deseados sin tráfico en la red.....	78
4.1.4.10.5	Resultados obtenidos versus deseados con tráfico en la red.....	78
4.1.4.11.1	Llamadas sin tráfico, codec gsm, estándar 802.11b.....	80
4.1.4.11.2	Llamadas con tráfico, codec gsm, estándar 802.11b.....	80
4.1.4.11.3	Llamadas sin tráfico, codec g711u, estándar 802.11b.....	80
4.1.4.11.4	Llamadas con tráfico, codec g711u, estándar 802.11b.....	81
4.1.4.11.5	Llamadas sin tráfico, codec gsm, estándar 802.11g.....	81
4.1.4.11.6	Llamadas con tráfico, codec gsm, estándar 802.11g.....	81
4.1.4.11.7	Llamadas sin tráfico, codec g711u, estándar 802.11g.....	82
4.1.4.11.8	Llamadas con tráfico, codec g711u, estándar 802.11g.....	82
4.1.4.11.9	Factor de corrección.....	84
5.1.1	Resultado de las llamadas.....	90

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo se presenta el problema principal que motivó al desarrollo de ésta tesis, haciendo un breve resumen del área en la que se desenvuelve, los objetivos que se esperan alcanzar, las limitaciones, la metodología que se siguió para su desarrollo, así como también un breve resumen de cada capítulo.

1.1 Antecedentes.

En los pasados 100 años hemos confiado en la PSTN Red Telefónica Conmutada Pública (*Public Switched Telephone Network*, por sus siglas en inglés) para realizar la comunicación de voz. Es decir, cuando se realiza una llamada entre dos lugares, la línea es dedicada a las dos partes que la están usando y además ninguna otra información puede viajar sobre la línea, aunque haya suficiente ancho de banda disponible. [DAVI01]

Posteriormente, se volvió importante no solamente transmitir voz, sino también datos, por lo que las empresas pagaron por líneas de datos separadas y así sus computadoras pudieron compartir información, mientras que las comunicaciones de voz y fax eran todavía enviadas por la PSTN. Este hecho se puede apreciar en la figura 1.1.1.

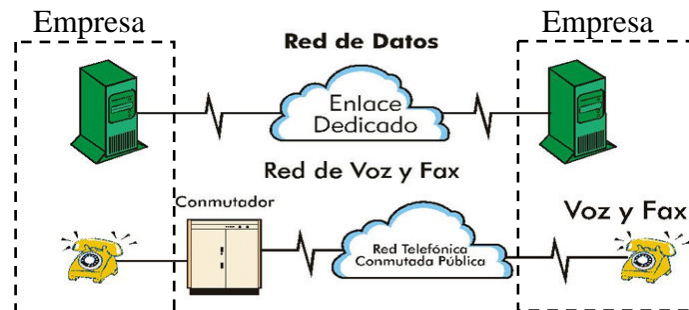


Figura 1.1.1. Transmisión de datos, voz y fax.

En el entorno de las redes IP (*Internet Protocol*); el fuerte crecimiento e implantación de éstas, tanto de forma local como remota, el desarrollo de técnicas avanzadas de digitalización de voz, mecanismos de control y priorización de tráfico, protocolos de transmisión en tiempo real, así como el estudio de nuevos estándares que

permiten la calidad de servicio en redes IP, han creado un entorno donde es propicio la transmisión de telefonía sobre IP.

Unido a lo anterior, actualmente, los negocios que cuentan con redes de datos IP están usando la tecnología VoIP, (*Voice over Internet Protocol*) para hablar y enviar faxes sobre sus líneas de datos, lo que les resulta principalmente en menores costos que usando la PSTN, ya que no tienen que pagar consumos adicionales, figura 1.1.2.

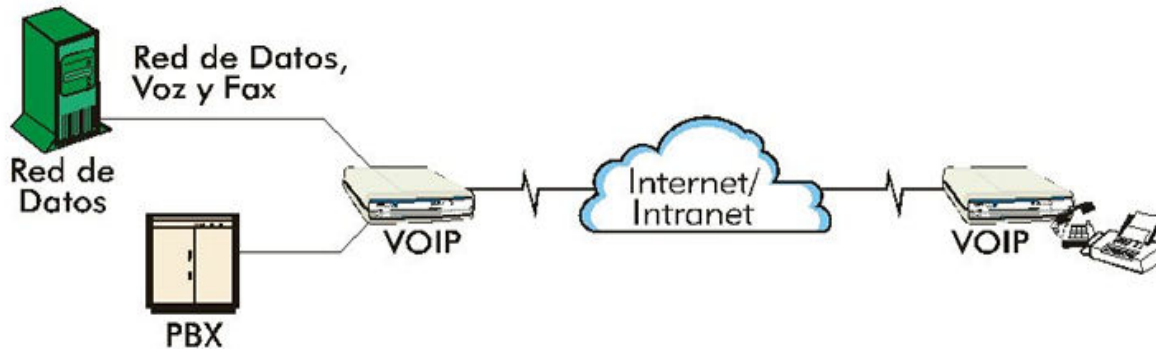


Figura 1.1.2. Transmisión de datos, voz y fax con VoIP.

La telefonía sobre IP abre un espacio muy importante dentro del universo de Internet. Es decir, la posibilidad de estar comunicados a costos más bajos dentro de las empresas y fuera de ellas; es la puerta de entrada de nuevos servicios apenas imaginados y es la forma de combinar una página de presentación de Web con la atención en vivo y en directo desde un centro de llamadas, entre muchas otras prestaciones.

En resumen, VoIP es un término que se utiliza en la llamada telefonía IP para un grupo de recursos que hacen posible que la voz viaje a través de Internet empleando su protocolo IP. En general, esto quiere decir enviar voz en forma digital en paquetes en lugar de enviarla en forma de conmutación de circuitos como lo haría una compañía telefónica convencional o PSTN. [REID04]

En Internet, los datos se envían en pequeños fragmentos (paquetes) que se dispersan eligiendo el camino más corto (menos saturado) y se recomponen en el destino. Éste funcionamiento descrito es ideal para los paquetes de datos, sin embargo, no fue pensado en un principio para enviar voz en tiempo real, por lo que las comunicaciones IP eran de muy mala calidad, debido a retardos y ecos principalmente.

La voz sobre IP se puede transmitir con un micrófono y unas bocinas, o bien se pueden utilizar los teléfonos IP los cuales tiene un funcionamiento similar al de los teléfonos convencionales de casa, figura 1.1.3.



Figura 1.1.3. Teléfono IP.

Ciertamente, existen objeciones de importancia, que tienen que ver con la calidad del sistema y con el tiempo entre fallas de las redes de datos en comparación con las de telefonía convencional. Sin embargo, la versatilidad y los costos de este sistema están haciendo que las compañías telefónicas comiencen a considerar la posibilidad de dar servicios sobre IP y de hecho, algunas ya han empezado a hacer pruebas.

Todo lo que hemos venido comentando se aplica directamente a las LAN o bien Redes de Área Local (*Local Area Network*), sin embargo, ante el impacto tan grande que ahora están teniendo las WLAN o bien Redes de Área Local Inalámbricas (*Wireless Local Area Network*), el reto ahora es poder lograr la transmisión de la voz en este otro tipo de redes.

A medida que la comunicación ha podido prescindir de los cables para convertirse, en gran parte, en inalámbrica, las empresas usuarias y los prestadores de servicio han visto surgir un gran número de posibilidades anteriormente inexistentes. Por ejemplo, la posibilidad de desplegar sus redes más rápidamente y con menor costo, y la presencia de servicios móviles que integran una amplia gama de prestaciones.

Las comunicaciones inalámbricas son normalmente más económicas de implementar, ya que se elimina mucho del trabajo y del cableado que es necesario en las comunicaciones alámbricas. Las redes son más rápidas de construir y su mantenimiento es menos costoso, ya que se consolidan muchos de los componentes de la red. Sin embargo, por otro lado, las redes inalámbricas tienen una desventaja frente a las alámbricas y es que son más susceptibles al medio ambiente. [FUND04]

Actualmente las WLANs (figura 1.1.4) más difundidas son las que utilizan el estándar 802.11b, cuya velocidad de transmisión teórica máxima de datos es de 11 Mb/s, sin embargo, esta velocidad es en óptimas condiciones ya que si se encuentran trabajando varios usuarios a la vez conectados al mismo punto de acceso, el ancho de banda real, se divide entre el número total de usuarios. Por otra parte, para lograr una transmisión de voz en una WLAN con un teléfono IP se requiere al menos tener la velocidad de los 11 Mb/s (según dicta la teoría) que este estándar proporciona, que aún cuando existen codecs que utilizan únicamente de 13 a 17 kb/s, lo cual teóricamente es suficiente para transmitir voz, el problema real es que de esos 11 Mb/s sólo son 5.5 Mb/s reales y esto es si se trabaja justo al lado del punto de acceso y además son utilizados por un solo nodo; sin embargo, en la realidad la red atiende a muchos usuarios a la vez y además se usa también para datos, por

esta razón se tendría que hacer un diseño de una forma más apropiada; para tener una comunicación satisfactoria. Por lo tanto, podemos darnos cuenta de que las WLANs más difundidas en la actualidad no se encuentran diseñadas para el soporte de voz.

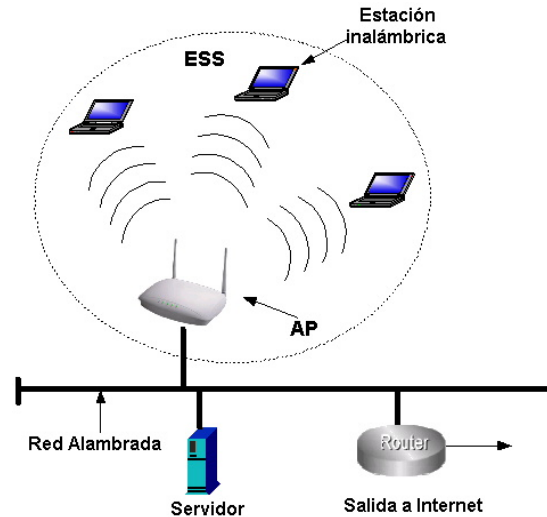


Figura 1.1.4. Red inalámbrica de área local.

Por otro lado, también ya se encuentran en nuestro medio redes inalámbricas diseñadas con los estándares 802.11a y 802.11g las cuales tienen velocidades superiores al estándar 802.11b, es decir, pueden llegar hasta 54 Mb/s, sin embargo, a semejanza del estándar 802.11b, su diseño no está hecho para que soporte voz (ya que sus puntos de acceso no se encuentran distribuidos de forma que la comunicación se pueda dar); sino que sólo se utiliza para el envío de datos y una red diseñada para datos no es ideal para la transmisión de voz.

Lo deseable sería que la misma red WLAN que manejamos para la transmisión de nuestros datos, también pueda soportar la transmisión de la voz de forma eficiente, y así poder aprovechar la tecnología existente.

1.2 Planteamiento del Problema.

Según marca la teoría, las WLANs que utilizan el estándar 802.11b, podrían dar soporte a la transmisión de voz sobre IP utilizando la velocidad máxima que este estándar propone, la cual es de 11 Mb/s, aún cuando en todas sus otras velocidades puede transmitir datos.

Por su parte las redes diseñadas con el estándar 802.11g que se encuentran funcionando actualmente manejan un rango de velocidades que van de 18 Mb/s hasta 54 Mb/s que también podrían dar soporte a la transmisión de voz.

Sin embargo, a pesar de que estas redes pueden transmitir VoIP, como se dijo anteriormente (bajo ciertas velocidades), independientemente del estándar no están diseñadas para el soporte de voz, sino únicamente de datos, ya que la distribución de los puntos de acceso no es el apropiado para la transmisión de voz de calidad, no obstante se podría volver a diseñar la red reubicando los puntos de acceso para poder permitir tanto el envío de datos como el de voz en la misma WLAN y de esta manera aprovechar la tecnología que ya se tiene para poder cumplir con un doble propósito, transmitir voz y datos.

1.3 Objetivo General.

Considerando un escenario de WLAN 802.11 con todos sus puntos de acceso conectados a una misma red IP, el objetivo general de la tesis consiste en: *Crear un procedimiento de diseño y distribución de puntos de acceso para redes inalámbricas que soporten voz sobre IP y datos.*

1.3.1 Objetivos Específicos.

- Conocer a fondo los estándares del IEEE que manejan velocidades suficientes para soportar voz.
- Considerar los siguientes aspectos de importancia en la creación del procedimiento de diseño: La relación distancia – velocidad, la razón señal – ruido o SNR, el porcentaje de utilización de un punto de acceso, la distribución de los canales y el rendimiento real de la red.
- El procedimiento de diseño deberá incluir las características de versatilidad, extensible a otros estándares 802.11, con una implementación sencilla y que pueda generar la máxima funcionalidad de una red.
- Implementar un escenario experimental para probar el diseño propuesto, con los estándares 802.11b y 802.11g y verificar el comportamiento de la VoIP.
- Realizar pruebas de campo para constatar la veracidad de la teoría con la realidad.

1.4 Alcances y Limitaciones.

El alcance de la tesis es hacer el patrón de diseño de la WLAN para VoIP y datos, y a la vez la experimentación en los estándares 802.11b y 802.11g con los puntos de acceso conectados a una misma red IP.

Las limitaciones van en el sentido de la disponibilidad y de la infraestructura disponible en el laboratorio de redes del Campus Cuernavaca. Cabe hacer mención que hasta el momento del desarrollo de los experimentos, el laboratorio no contaba con todo el equipo necesario para llevarlos a cabo, sin embargo, se consiguió fuera del Campus.

1.5 Metodología de Desarrollo.

El desarrollo de esta tesis se encuentra dividido en las siguientes actividades:

- Estudio de los conceptos teóricos relativos a redes inalámbricas, estándares de WLANs incluyendo sus técnicas de modulación, velocidades, distribución de canales y VoIP. Revisión bibliográfica en forma general.
- Analizar y comprender el funcionamiento de los estándares 802.11b y 802.11g.
- Realización del patrón de diseño de la WLAN en los estándares 802.11b y 802.11g para que soporte voz y datos.
- Realización de pruebas para determinar si los valores teóricos que publican los estándares coinciden con la realidad, para los estándares 802.11b y 802.11g.
- Probar el diseño propuesto para los estándares 802.11b y 802.11g.
- Escritura y documentación de la tesis.
- Revisiones con el asesor.
- Preparación del examen de grado.

1.6 Descripción Breve de los Capítulos.

Para ayudar al lector a encontrar de una manera rápida la información de su interés, así como también para darle un panorama preciso sobre los conceptos que se exponen en esta tesis denominada "*Patrón de Diseño de una WLAN para que Soporte Voz sobre IP (VoIP) y Datos*" se detalla a continuación una breve descripción de los diferentes capítulos que la integran:

Capítulo 1. Introducción.

Describe en forma breve el tema central en el que se desenvuelve esta tesis, es decir, se plantean conceptos de VoIP y de WLANs. Por otra parte se presenta el problema a resolver, los objetivos del mismo, los alcances y las limitaciones, así como la metodología de desarrollo.

Capítulo 2. Fundamentos de WLANs, VoIP y QoS.

En este capítulo se presenta una introducción de los conceptos básicos de las redes inalámbricas, de VoIP y Calidad de Servicio. Lo que se define en él son los fundamentos teóricos que dan sustento al presente trabajo de tesis.

Capítulo 3. Procedimiento para Diseñar una WLAN que Soporte VoIP y Datos con los Estándares 802.11b y 802.11g.

En este capítulo se describe el procedimiento de diseño que se debe seguir cuando se quiere crear una red inalámbrica con soporte de VoIP y datos en los estándares 802.11b y 802.11g, así como también se describe aquellos aspectos importantes a tener en cuenta.

Capítulo 4. Implementación y Análisis de Resultados de las Pruebas.

Describe el procedimiento que se siguió para poner en marcha las pruebas y los experimentos que se hicieron, así como también el equipo que se utilizó tanto en hardware como software.

Capítulo 5. Conclusiones y Trabajos Futuros

Presenta las conclusiones finales que se generaron de la investigación y el posible trabajo futuro que podría dar continuidad a esta tesis.

Anexos.

En esta última parte se encuentran una serie de apartados los cuales son: el esquema de las pruebas que se realizaron, formatos de captura de resultados, así como también las conclusiones de algunas pruebas.

Capítulo 2

Fundamentos de WLANs, VoIP y QoS

En este capítulo se presenta un resumen de los principales conceptos que serán necesarios para poder entender cabalmente el desarrollo de la tesis.

2.1 Introducción a las WLAN.

En el ámbito de las redes el uso de sistemas inalámbricos representa el siguiente escalón en la tecnología, ya que permite dotar de nuevas posibilidades a las redes convencionales las cuales utilizamos de manera cotidiana.

Sin embargo, esta tecnología no es nueva, su origen se remonta a una publicación que hizo el IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) en 1979, de los resultados de un experimento realizado por ingenieros de IBM (*Internacional Business Machine*) en Suiza, consistente en utilizar enlaces infrarrojos para crear una red local en una fábrica; este hecho es el que puede considerarse como el punto de partida en esta tecnología. [VALD06]

Las investigaciones siguieron adelante tanto con infrarrojos como con microondas, donde se utilizaba el esquema de espectro disperso (*spread spectrum*) y en mayo de 1985, tras cuatro años de estudios, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC), la Agencia Federal del Gobierno de Estados Unidos encargada de regular y administrar en materia de telecomunicaciones, asignó las bandas 902 – 928 MHz, 2.400 – 2.4835 GHz y 5.725 – 5.850 GHz de ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) para uso en las redes inalámbricas, así como también la bandas basadas en ese espectro. [VALD06, GARC06]

Actualmente, las WLAN, están ganando mucha popularidad, la cual se ve acrecentada en la medida que sus prestaciones van en aumento así como también se descubren nuevas aplicaciones para ellas. Las WLAN permiten a sus usuarios el poder acceder a información y recursos en tiempo real, sin la necesidad de estar físicamente conectados en un determinado lugar.

El marco principal en el que se desarrolla esta investigación es en el de las WLANs las cuales actualmente son diseñadas para soportar computación móvil en pequeñas áreas tales como podría ser un edificio, un parque, un aeropuerto o un complejo de oficinas; siendo su principal atractivo la flexibilidad, ya que pueden extender el acceso de las LAN, así como también incrementa la productividad y eficiencia de los lugares en donde está instalada.

A modo de definición podemos decir que una WLAN es un conjunto de puntos de acceso y clientes que se interconectan entre sí, es decir, es un sistema de comunicación de datos inalámbrico, flexible y muy utilizado como alternativa a la LAN cableada o como una extensión de ésta. En ella se establecen las comunicaciones por medio de enlaces de RF radio frecuencia (*radio frequency*), formando una red, lo cual permite mayor movilidad a los usuarios al minimizarse las conexiones cableadas. Las WLAN tienen gran importancia en muchos campos, como almacenes o para manufactura, en los que se transmite la información en tiempo real a una terminal central; al igual son muy populares en los hogares para compartir un acceso a Internet entre varias computadoras.

Las redes inalámbricas se clasifican en tres categorías: WAN/MAN (*Wide Area Network / Metropolitan Area Network*, son redes que cubren desde decenas hasta miles de kilómetros), LAN (son redes que comprenden desde varios metros, hasta decenas de metros) y PAN (*Personal Area Network*, son redes personales que comprenden desde muy poca distancia hasta 30 metros). [MART01]

Con cualquiera de estas tres últimas tecnologías se puede acceder a la red de una casa u oficina desde un teléfono celular por ejemplo, se podrán controlar dispositivos o consultar a distancia datos y acceder a Internet.

Entre las principales características de una red inalámbrica podemos mencionar las siguientes:

- *La estandarización e interoperabilidad.*
- *La movilidad:* Permite transmitir información en tiempo real en cualquier lugar de la organización o empresa a cualquier usuario. Esto supone mayor productividad y mayores posibilidades de servicio.
- *Ahorro de costos de cableados fijos:* Evita el tendido de cables y costosas instalaciones. Además, los puntos de acceso y los adaptadores utilizados, tienen un costo relativamente accesible.
- *Escalabilidad:* Capacidad de un sistema de cambiar su tamaño o configuración para adaptarse a las circunstancias cambiantes, como adaptarse a un número de usuarios cada vez mayor, sin perder calidad en los servicios.
- *Facilidad de instalación:* Al no usar cables, se evitan obras para hacer el tendido por muros y techos, mejorando así el aspecto y la habitabilidad de los locales, y reduciendo el tiempo de instalación. También permite el acceso instantáneo a usuarios temporales de la red.
- *Gestión:* Capacidad de monitorear y controlar los recursos de una red con el fin de evitar que ésta llegue a funcionar incorrectamente degradando sus prestaciones.

- *Flexibilidad*: Puede llegar donde el cable no puede, superando un mayor número de obstáculos, pudiendo incluso atravesar paredes. Por lo tanto, es útil en zonas donde el cableado no es posible o es muy costoso como los parques naturales, reservas o zonas escarpadas.
- *Ahorro de espacio*: Al no tener que utilizar tanto equipo para que pueda funcionar.

2.2 Estándares del IEEE para WLANs.

Como muchas otras tecnologías, las WLANs también requieren de estándares, y éstos son desarrollados por organismos de renombre internacional, como son el IEEE, el cual es una asociación técnico-profesional a nivel mundial dedicada a la estandarización, entre otras cosas y es una autoridad líder y de máximo prestigio en las áreas técnicas derivadas de la eléctrica y electrónica originales, que van desde ingeniería computacional, tecnología biomédica y aeroespacial, hasta las áreas de energía eléctrica, telecomunicaciones y electrónica de consumo, entre otras.

Por otra parte se encuentra el ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), el cual es una organización, que al igual que el IEEE es de estandarización para la industria de las telecomunicaciones (fabricantes de equipos y operadores de redes) de Europa, con proyección mundial.

En ocasiones los estándares no emergen de entidades como el IEEE o el ETSI, sino que provienen de un consorcio de proveedores de tecnología, como el foro OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) o la Alianza de compatibilidad de Ethernet inalámbrico WECA (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*). Sin embargo, a pesar de que estos foros no son entidades de estándares, varios de ellos son considerados seriamente en el mercado por los proveedores de la tecnología debido a que mantienen una relación cercana con el IEEE. Por otra parte, foros como BWIF (*Broadband Wireless Internet Forum*) normalmente están compuestos por alguna de las compañías de tecnología más importantes del mundo como Cisco. [REID04]

En un mundo tecnológico donde las innovaciones son comunes y en ocasiones revolucionarias, la aplicación de un estándar quizá está relacionada en forma más intensa con la amplitud con la que se despliegue una tecnología. Una vez que un estándar ha sido desarrollado y publicado por alguno de los organismos anteriores, éste se convierte en la base de los fabricantes para desarrollar sus productos, debido a que esto tiende a reducir el costo de desarrollo, velocidad de despliegue y maximizar el mercado potencial.

Entre los principales estándares que han sido desarrollados para WLANs se encuentran: [ESTA05]

- *IEEE 802.11*: Estándar original de WLANs que soporta velocidades entre 1 y 2 Mb/s.
- *IEEE 802.11a*: Estándar de alta velocidad que soporta velocidades de hasta 54 Mb/s en la banda de 5 GHz.
- *IEEE 802.11b*: Estándar dominante de WLAN (conocido también como Wi-Fi *Wireless - Fidelity*) que soporta velocidades de hasta 11 Mb/s en la banda de 2.4 GHz.
- *IEEE 802.11g*: Estándar desarrollado a partir del 802.11b que soporta velocidades de hasta 54 Mb/s en la banda de 2.4 GHz.
- *HiperLAN2*: Estándar propuesto por el ETSI, el cual compite con IEEE 802.11a al soportar velocidades de hasta 54 Mb/s usando la tecnología OFDM en la banda de 5 GHz.
- *HomeRF*: Estándar que compite con el IEEE 802.11b que soporta velocidades de hasta 10 Mb/s en la banda de 2.4 GHz. Diseñado para el trabajo en red de casa, basado en la versión original del FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*).

El gran éxito de las WLANs es que utilizan frecuencias de uso libre, es decir, no es necesario pedir autorización o algún permiso para utilizarlas. Aunque hay que tener en mente, que la normatividad acerca de la administración del espectro varía de país a país. La desventaja de utilizar este tipo de bandas de frecuencias es que las comunicaciones son propensas a interferencias y errores de transmisión; y estos errores ocasionan que los paquetes de información sean reenviados una y otra vez.

2.2.1 IEEE 802.11.

El protocolo IEEE 802.11 es un estándar de comunicaciones del IEEE que surge en 1997 y se convirtió en el primer estándar WLAN. Este tiene un conjunto de variantes y quizá es el más importante, porque es el estándar que ha capturado la atención de los proveedores principales de esta tecnología y disfruta por un amplio margen de la mayor parte del mercado. Ver tabla 2.2.1.1.

Tabla 2.2.1.1. Tabla de estándares variantes del 802.11.

Estándar	Frecuencia Portadora	Velocidad de datos	Resumen
802.11a	5.1 – 5.2 GHz 5.2 – 5.3 GHz 5.7 – 5.8 GHz	54 Mb/s	La potencia máxima es 40 mW en la banda 5.1 GHz, 250 mW en la banda 5.2 GHz y 800 mW en la banda 5.7 GHz (en Estados Unidos).
802.11b	2.4 – 2.485 GHz	11 Mb/s	Es el estándar más difundido.
802.11d	N/D		Múltiples dominios reguladores.
802.11e	N/D	N/D	Calidad de servicio.
802.11f	N/D	N/D	Protocolo de conexión entre puntos de acceso (<i>Inter-Access Point Protocol, IAPP</i>).
802.11g	2.4 – 2.485 GHz	54 Mb/s	
802.11h	N/D	N/D	Selección dinámica de frecuencia (<i>Dynamic Frequency Selection, DFS</i>).
802.11i	N/D	N/D	Seguridad.

El estándar 802.11 define el uso de los dos niveles más bajos de la arquitectura OSI (*Open System Interconnection*): la capa física y la de enlace de datos, el nivel de enlace de datos a su vez se subdivide en LLC (que es el enlace lógico) y MAC (control de acceso al medio), figura 2.2.1.1. Este protocolo especifica sus normas de funcionamiento en una red de área local inalámbrica; en general, estos protocolos de la rama 802.x definen la tecnología de redes de área local. [WILD05]

El protocolo 802.11 tiene que cumplir con los siguientes requisitos:

1. El protocolo admite estaciones fijas, portátiles o móviles dentro de un área local.
2. El protocolo proporciona conectividad inalámbrica, a equipos o estaciones de trabajo que necesiten de un rápido despliegue, es decir, un rápido establecimiento de las comunicaciones.
3. El protocolo debe poderse desplegar de modo global.

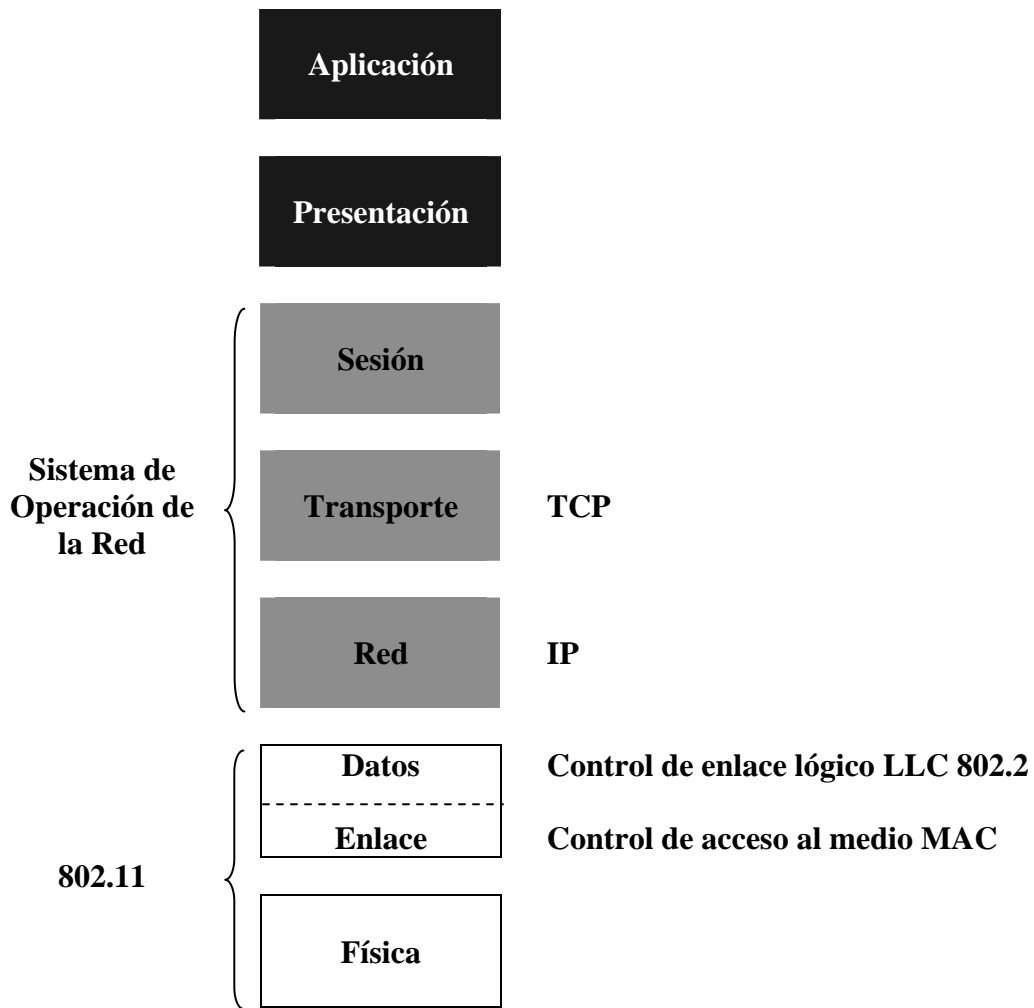


Figura 2.2.1.1. Modelo OSI para WLANs.

El estándar original de este protocolo tiene velocidades que van de 1 Mb/s hasta 2 Mb/s y trabaja en la banda de frecuencia de 2.4 GHz que es una banda libre de ISM, cabe hacer mención de que dado que ISM no es una banda comercial, muchos otros dispositivos operan en ella, por lo que en algunos lugares se podría experimentar algo de interferencia.

Una de las mayores debilidades de este estándar fue que dejaba mucha libertad de implementación a los proveedores de equipos, lo cual se tradujo en dificultades de interoperabilidad entre equipos de diferentes marcas. En la actualidad no se fabrican productos del 802.11. Éstas y otras debilidades fueron corregidas con el surgimiento del estándar 802.11b, que fue el primero de esta familia en alcanzar amplia aceptación entre los consumidores.

2.2.2 IEEE 802.11b.

La siguiente modificación al estándar IEEE 802.11 apareció en 1999 y es designada como IEEE 802.11b, actualmente, este es el estándar que está liderando el tremendo éxito de las redes inalámbricas, esta especificación tiene velocidades que van desde 2 hasta 11 Mb/s, trabaja en la banda de frecuencia ISM de 2.4 GHz y su técnica de modulación es DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) con el sistema de codificación CCK (*Complementary Code Keying*).

El estándar 802.11b tiene 11 canales disponibles en América, 13 en Europa y 14 en Japón. Sin embargo, si en una red se contempla poner más de un AP o punto de acceso (*access point*) en el mismo lugar, los canales recomendados para evitar el traslape son el 1, el 6 y el 11 en América (como se puede apreciar en la figura 2.2.2.1.) y el 1, el 7 y el 13 en Europa. Aunque en teoría, serían 4 los canales requeridos para extender la cobertura sin interferencias mediante células en dos dimensiones. Por otra parte, cabe hacer mención que en estudios realizados por Mitchell Burton (CTO de *Cirond Technologies*), se demuestra que sería posible usar los canales 1, 4, 8 y 11 con interferencias poco significativas entre ellos para este estándar.

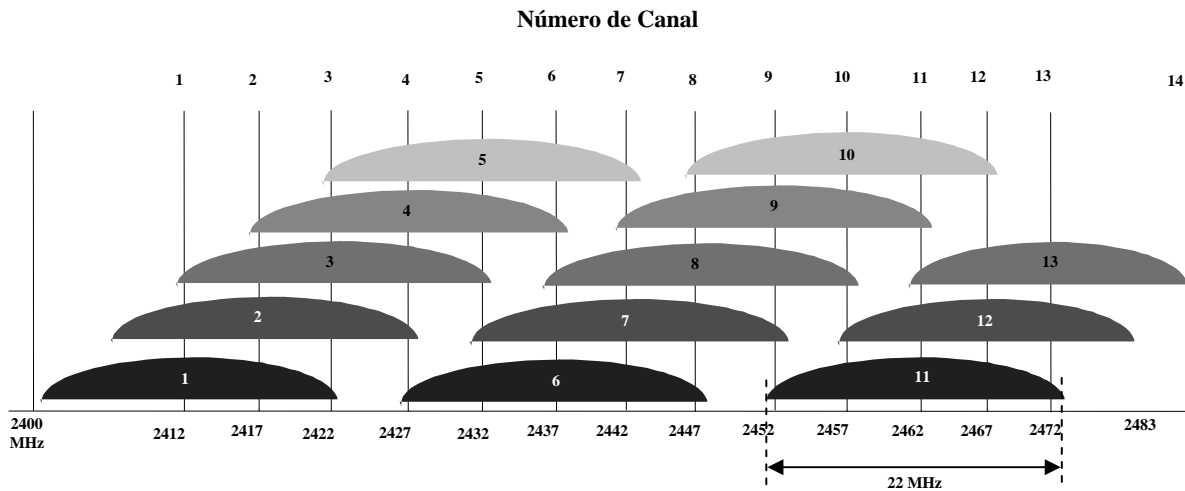


Figura 2.2.2.1. Canales de frecuencia de la banda 2.4 GHz.

En la figura 2.2.2.2 se presenta una posible distribución de canales de frecuencia utilizando el estándar 802.11b y teniendo un mínimo de tres puntos de acceso en un área dada.

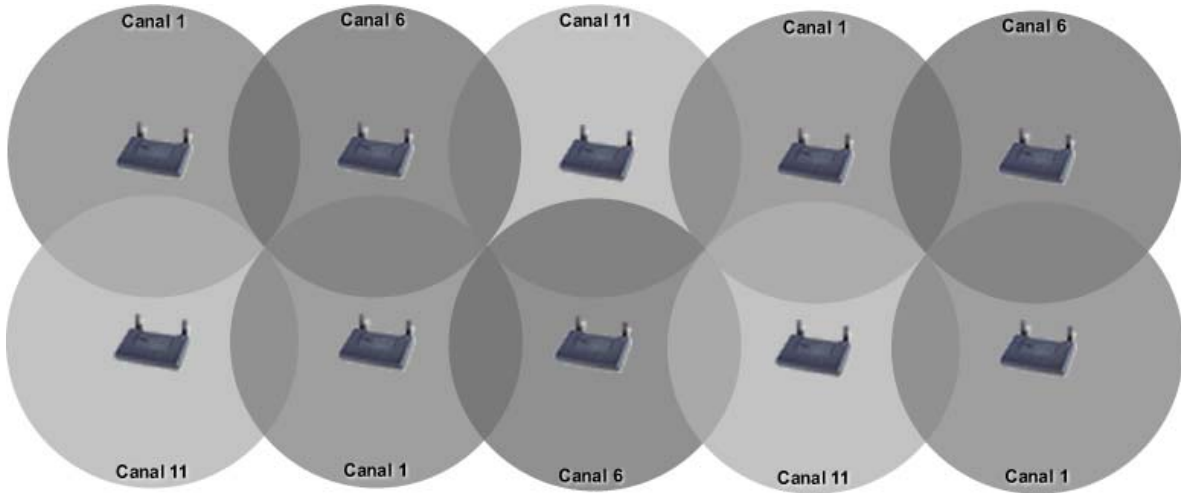


Figura 2.2.2.2. Distribución de canales de frecuencia.

En la figura 2.2.2.3 se presenta la cobertura aproximada de un punto de acceso. Como se puede apreciar a una distancia de hasta 48 m se pueden tener velocidades de 11 Mb/s, la cual se representa con el círculo concéntrico más cercano al punto de acceso. En el círculo que se encuentra en la parte central se puede llegar a velocidades de hasta 5.5 Mb/s, estando a una distancia comprendida entre 48 y 67 m. Por último en el círculo que se encuentra en la parte exterior, se pueden tener velocidades de hasta 2 Mb/s, estando a una distancia entre 67 y 82 m.

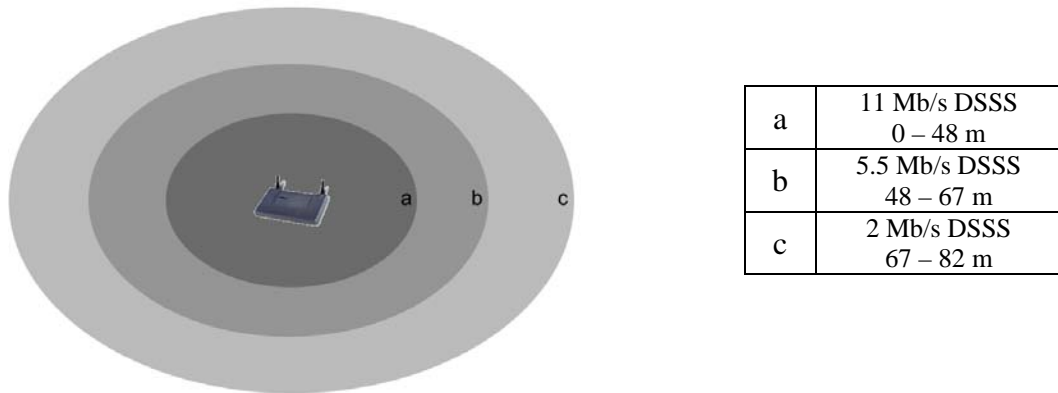


Figura 2.2.2.3. Velocidades teóricas de un punto de acceso 802.11b.

2.2.3 IEEE 802.11a.

802.11a surge en el año de 1999 y representa la tercera generación de estándares para redes inalámbricas después de 802.11 y 802.11b. El estándar 802.11a opera en la banda de frecuencia de 5 GHz, la cual es llamada UNII (*Unlicensed National Information Infrastructure*) y se encuentra dividida en tres partes como se muestra en la figura 2.2.3.1.

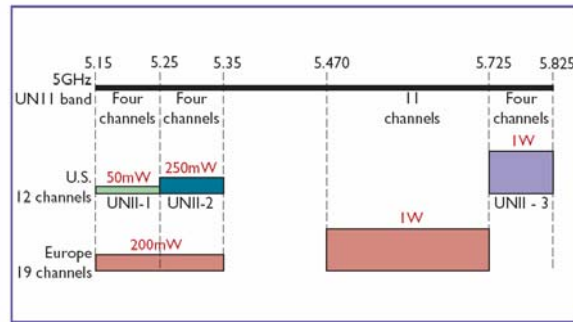
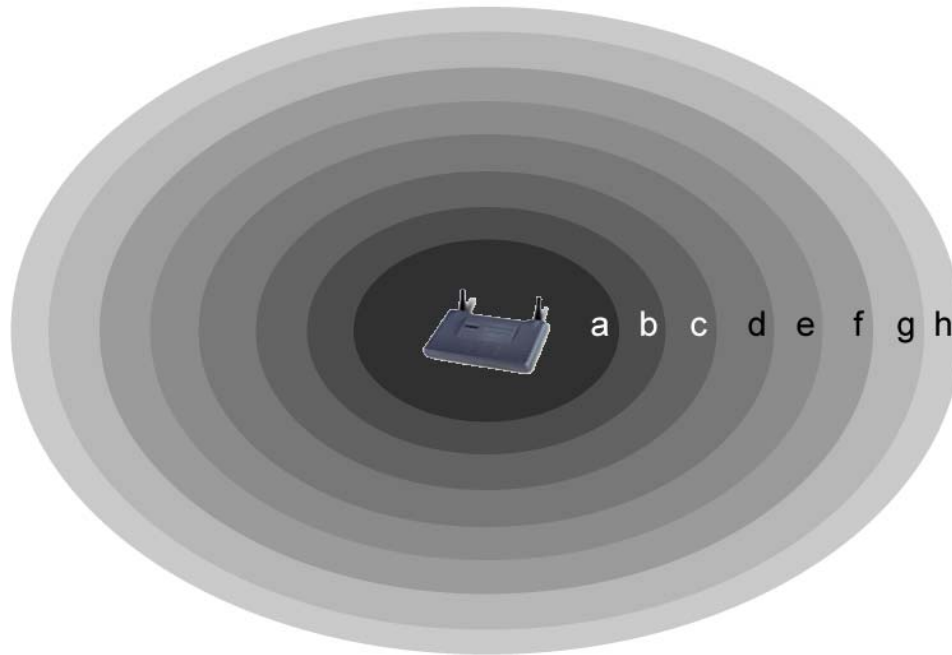


Figura 2.2.3.1. Banda de frecuencia de 5 GHz UNII.

802.11a provee significativamente un mayor ancho de banda que el 802.11b y en cuanto a su velocidad de transmisión alcanza los 54 Mb/s (lo que lo hace especialmente indicado para entornos con elevados requerimientos de ancho de banda como videoconferencia, archivos gráficos muy pesados, aplicaciones multimedia, la facilidad de poder trabajar en un ambiente colaborativo, entre otros), además nos proporciona doce canales que no se superponen (8 para red inalámbrica y 4 para conexiones punto a punto) con el consiguiente aumento en la capacidad para las comunicaciones simultáneas. Este estándar emplea la técnica de modulación OFDM, el cual utiliza un total de 52 subportadoras que son transmitidas simultáneamente hacia el receptor en diferentes frecuencias.

Por otra parte el 802.11a es incompatible con los productos del estándar b. Pero a pesar de esto, el estándar 802.11a tiene algunas ventajas respecto al 802.11b, como lo es el hecho de que su velocidad de transmisión es mayor, además de que utiliza un intervalo de frecuencia más alto el cual es de 5 GHz como se mencionó anteriormente, siendo ésta una banda más ancha y menos congestionada que la de 2.4 GHz que el 802.11b usa y que también comparte con teléfonos inalámbricos, hornos de microondas, dispositivos Bluetooth, entre otros. Una banda más ancha significa que más canales de radio pueden coexistir sin interferencia. [KAPP02]

En cuanto a la relación velocidad – distancia de cobertura que este estándar maneja podemos ver la figura 2.2.3.2. [CAPA05, MART04]



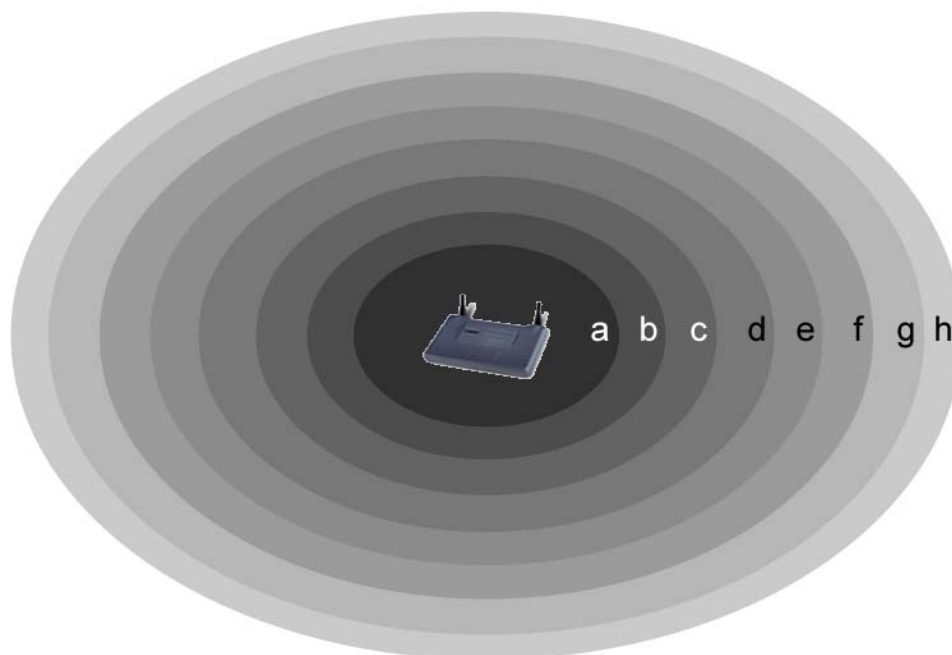
a	54 Mb/s OFDM 0 – 13 m
b	48 Mb/s OFDM 13 – 15 m
c	36 Mb/s OFDM 15 – 19 m
d	24 Mb/s OFDM 19 – 26 m
e	18 Mb/s OFDM 26 – 33 m
f	12 Mb/s OFDM 33 – 39 m
g	9 Mb/s OFDM 39 – 45 m
h	6 Mb/s OFDM 45 – 50 m

Figura 2.2.3.2. Velocidades teóricas de un punto de acceso 802.11a.

2.2.4 IEEE 802.11g.

Este estándar surge en el año 2003 y al igual que el estándar 802.11a permite velocidades de 54 Mb/s, pero a semejanza de 802.11b trabaja en la banda libre ISM de 2.4 GHz mediante la utilización de la modulación OFDM. Actualmente, la mayoría de productos que se fabrican son de la especificación b y de la g. Las unidades 802.11g pueden trabajar también a velocidades de 11 Mb/s, de modo que los dispositivos 802.11b y 802.11g pueden coexistir bajo la misma red y es precisamente su compatibilidad con el estándar b lo que lo hace atractivo.

Este estándar a semejanza del 802.11b cuenta con 11 canales disponibles en América, 13 en Europa y 14 en Japón. Por consiguiente, los canales recomendados para evitar el traslape son el 1, el 6 y el 11 en América y el 1, el 7 y el 13 en Europa. En cuanto al estudio de Mitchell Burton sobre el uso de los canales 1, 4, 8 y 11 comenta que no sería conveniente para este estándar debido a la modulación empleada y diferente ocupación espectral. En cuanto a las distancias de cobertura y velocidades teóricas éste estándar, podemos referirnos a la figura 2.2.4.1. [CAPA05, MART04]



a	54 Mb/s OFDM 0 - 27 m
b	48 Mb/s OFDM 27 - 29 m
c	36 Mb/s OFDM 29 - 30 m
d	24 Mb/s OFDM 30 - 42 m
e	18 Mb/s OFDM 42 - 54 m
f	12 Mb/s OFDM 54 - 64 m
g	9 Mb/s OFDM 64 - 76 m
h	6 Mb/s OFDM 76 - 91 m

Figura 2.2.4.1. Velocidades teóricas de un punto de acceso 802.11g.

2.2.5 IEEE 802.11n.

A medida que las redes inalámbricas se han popularizado, el anhelo de los consumidores ha sido que esta tecnología adopte una mejoría en dos aspectos principales: velocidad y alcance. Además sabemos que las nuevas aplicaciones inalámbricas demandan un ancho de banda mayor a lo ofrecidos por los estándares actuales.

En enero de 2004, la IEEE anunció la formación de un grupo de trabajo llamado 802.11 (TGn – *Task Group N Sync*) para desarrollar una nueva revisión del estándar 802.11, la velocidad real de transmisión de éste se espera alcance los 500 Mb/s o al menos 100 Mb/s (lo que significa que las velocidades teóricas de transmisión serían mayores) y debería ser hasta 10 veces más rápido que una red bajo los estándares 802.11a y 802.11g y cerca de 40 veces más rápida que una red bajo el estándar 802.11b. También se espera que el alcance de operación de las redes aumente con este nuevo estándar y para lograr la interoperabilidad el nuevo estándar tendrá que operar sobre las bandas de frecuencia de 2.4 Ghz y 5 Ghz. Por otra parte, se anunció que el estándar completo se presentaría hacia finales de 2006. Ver tabla 2.2.5.1.

Tabla 2.2.5.1. Comparación de las velocidades de transferencia del estándar 802.11.

Estándar 802.11	Velocidades
802.11b	11 Mb/s
802.11g	54 Mb/s
802.11a	54 Mb/s
802.11n	Al menos 100 Mb/s

A pesar de que el estándar 802.11n no se termina aún, el IEEE ha liberado una versión preliminar llamada 802.11n Draft y compañías dedicadas al mercado de las redes inalámbricas han aprovechado las bondades de este nuevo estándar adoptándolo para integrarlo en sus productos, llamándolos dispositivos pre-N o asignándoles un nombre comercial como es el caso de la empresa LinkSys que usa la palabra SRX.

Los dispositivos pre-N son esencialmente equipos 802.11g que hacen uso de la tecnología OFDM y MIMO en inglés *Multiple Input Multiple Output* que significa Múltiples Entradas Múltiples Salidas y que fue desarrollado por la empresa Airgo Networks un fabricante de microchips de Silicon Valley. Ver figura 2.2.5.1 y tabla 2.2.5.2.



Figura 2.2.5.1. Punto de acceso con tecnología Pre-N.

Tabla 2.2.5.2. Características del estándar 802.11 pre-N.

Características	Valores
Velocidades	Hasta 108Mb/s
Alcance	Hasta 600 metros
Técnicas de modulación usadas	OFDM
Bandas de frecuencia en que opera	2.4Ghz y 5.0Ghz
Seguridad	Stateful Packet Inspection (SPI) Firewall, TKIP, AES, 802.1x, WEP, Wireless MAC Filtering

A continuación se describe brevemente el funcionamiento de la tecnología MIMO (ver figura 2.2.5.2):

1. Múltiples antenas dividen el ancho de banda (108Mb) en dos o más flujos de datos independientes y los transmiten usando la misma frecuencia al mismo tiempo.
2. Conforme las señales de radio viajan, éstas rebotan y se dispersan.
3. Las señales dispersadas alcanzan al receptor en diferentes tiempos, ángulos y atenuaciones.
4. Por el lado del receptor múltiples antenas reciben las señales dispersas.
5. El procesador de señales digitales del receptor realiza cálculos sobre las señales recibidas, las analiza y reconstruye los flujos de datos transmitidos en un solo flujo de 108Mb/s.

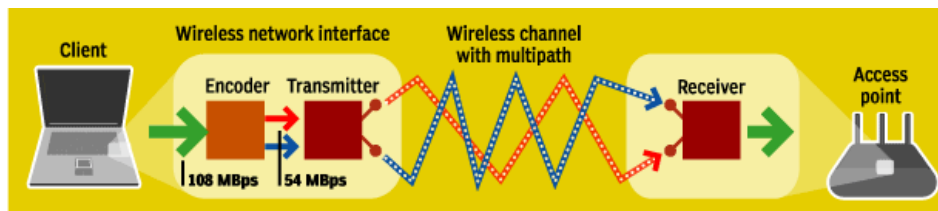


Figura 2.2.5.2. Forma de operación de MIMO.

Como se mostró en la tabla 2.2.5.2, MIMO utiliza OFDM como técnica de modulación, lo que permite la transmisión simultánea de múltiples señales a través de cable o aire en diversas frecuencias; usando espaciado ortogonal de las frecuencias para prevenir interferencias.

Aplicaciones.

- *Redes inalámbricas domésticas de alta velocidad*, ofrece suficiente velocidad y alcance para transmitir vídeo de alta definición o HDTV a lo largo de toda una

casa y capacidad para transmitir simultáneamente HDTV, música, juegos interactivos y datos.

- *Redes inalámbricas en oficinas*, crea mejores redes inalámbricas con suficiente rendimiento para ofrecer aplicaciones que requieran de un ancho de banda de alta velocidad, como por ejemplo; multimedia, videoconferencia y VoIP.
- *Puntos de acceso mejorados*, aumenta el rango de cobertura con menos puntos de acceso (reduce costos) y mejora los servicios ofrecidos, pasando de brindar simplemente servicios de acceso a Internet hasta servicios de valor agregado como: zonas interactivas de juego, vídeo sobre demanda, películas bajando mientras se carga gasolina, campañas de mercado a empresas, entre otros.

Limitaciones.

A pesar de todas las bondades que el estándar 802.11n parece tener por ser una tecnología nueva, existe poca compatibilidad de estos equipos con sistemas operativos como Mac y Linux, el mercado se ha enfocado a Windows principalmente.

Otra limitación se debe a que el nuevo estándar 802.11n no está terminado y el equipo que se venda ahora podría ser incompatible con el que funcione acorde con la versión final del estándar.

Como cualquier tecnología nueva, su limitante es el precio y el equipo compatible con ella aun es algo costoso comparado con los precios de los puntos de acceso, ruteadores y tarjetas inalámbricas convencionales.

Actualmente existen muchas empresas que han adoptado el estándar 802.11n Draft, entre ellas se encuentran compañías como: LinkSys, SMC, Belkin, NetGear, etc. Todas emplean la tecnología MIMO como base para mejorar el rendimiento de sus productos basados en el estándar 802.11g, sin embargo, cada fabricante tiene su propia implementación no compatible con el resto, e incluso algunos fabricantes no prometen compatibilidad ni con sus propios productos. [OLIV05]

En conclusión, la tecnología Pre-N, MIMO/OFDM, 802.11n o como se le vaya a llamar finalmente, resulta ser una alternativa muy interesante que seguramente reemplazará a los estándares actuales. A pesar de que el estándar 802.11n no está liberado al cien por ciento, los avances a la fecha demuestran que es una tecnología muy prometedora y que pronto podría convertirse en el nuevo estándar. [LUTH06]

2.2.6 Conclusiones de los Estándares 802.11a, 802.11b, 802.11g y 802.11n.

La tabla 2.2.6.1 presenta un resumen de los principales aspectos de los estándares 802.11 a, b, g y n.

Tabla 2.2.6.1. Comparación de los estándares 802.11a, b, g y n.

	802.11b	802.11g	802.11a	802.11n
Banda	2.4 GHz	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz/5 GHz
Velocidad	1 – 11 Mb/s	1 – 54 Mb/s	6 – 54 Mb/s	Al menos 100 Mb/s
Canales no Solapados	3	3	8	-
Modulación	DSSS	OFDM	OFDM	MIMO/OFDM
Wi – Fi	Si	Si	WiFi5	Si
IEEE	1999	2003	1999	-

En la tabla 2.2.6.2 se muestra un cuadro comparativo con los diferentes estándares que hasta este punto se han comentado en este trabajo. [PERE05]

Tabla 2.2.6.2. Cuadro comparativo de estándares.

Sistema	Capacidad de Datos	Espectro	Interfaz Aérea
IEEE 802.11 (FHSS)	1 Mb/s	2.4 GHz (ISM)	FHSS
IEEE 802.11 (DSSS)	2 Mb/s	2.4 GHz (ISM)	DSSS
IEEE 802.11b	11 Mb/s	2.4 GHz (ISM)	DSSS
IEEE 802.11g	22-33 Mb/s	2.4 GHz (ISM)	CCK-OFDM
	54 Mb/s		PBCC-22
IEEE 802.11a	54 Mb/s	5 GHz (U-NII)	OFDM
HiperLan 1	23.5 Mb/s	5 GHz (U-NII)	GMSK
HiperLan 2	54 Mb/s	5 GHz (U-NII)	OFDM
HomeRF	1 Mb/s	2.4 GHz (ISM)	FHSS

2.3 Topologías de WLANs – Modos de Operación.

La arquitectura del IEEE 802.11, es decir, su topología define como están interconectados los dispositivos que la componen, así como el lugar en el que se encuentran ubicados los mismos.

Básicamente se divide en dos formas:

- La infraestructura estándar.
- Las de tipo Ad Hoc.

Estas topologías serán descritas en los siguientes párrafos.

2.3.1 Infraestructura estándar.

La infraestructura estándar de las topologías WLANs, se divide en dos partes fundamentales:

- La infraestructura BSS (*Basic Set Service*).
- La infraestructura ESS (*Extended Set Service*).

2.3.1.1 BSS.

El BSS es el elemento básico de una WLAN IEEE 802.11, consiste en una extensión de la red cableada a través del uso de un punto de acceso inalámbrico.

La figura 2.3.1.1.1 muestra un AP y un BSS con tres estaciones que forman parte de él. BSS cubre una sola área de radio frecuencia o célula, como se indica por el círculo. Cuando una estación se mueve más allá del AP su rendimiento decrece, cuando se mueve fuera del BSS, se corta la comunicación con los otros miembros del BSS. Todas las estaciones se comunican por medio del AP, es decir, no se comunican directamente y para acceder a los recursos de la red cableada es también a través de él. El BSS tiene un solo SSID o Identificador de Conjunto de Servicio, (*Service Set Identifier*). [FUND04]

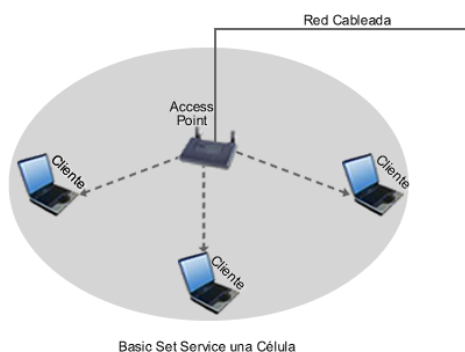


Figura 2.3.1.1.1. Basic Set Service.

2.3.1.2 ESS.

El *Extended Set Service*, es la conexión de dos o más BSS, tal como se aprecia en la figura 2.3.1.2.1. Esto permite la creación de una red inalámbrica de tamaño y complejidad arbitraria. Al igual que un BSS todos los paquetes tienen que pasar por un AP y de ahí

poder viajar hacia su destino. Los ESS se usan normalmente cuando se desea ofrecer servicio a áreas grandes como podría ser un Campus.

Cuando un dispositivo móvil se mueve de un AP a otro, éste realiza un *hand-off* (cambio automático de canal) para conmutar del AP que le estaba brindando el servicio al otro de manera transparente para el usuario.

De manera formal un hand-off es un mecanismo que conmuta rápidamente la conexión de un suscriptor de una célula a otra célula vecina conforme el usuario se mueve de una localidad a otra. Esto se logra haciendo que los radios de cobertura de cada uno de los AP instalados se superpongan un cierto margen que ya en la práctica se recomienda que sea de un 30%. [FUND04]

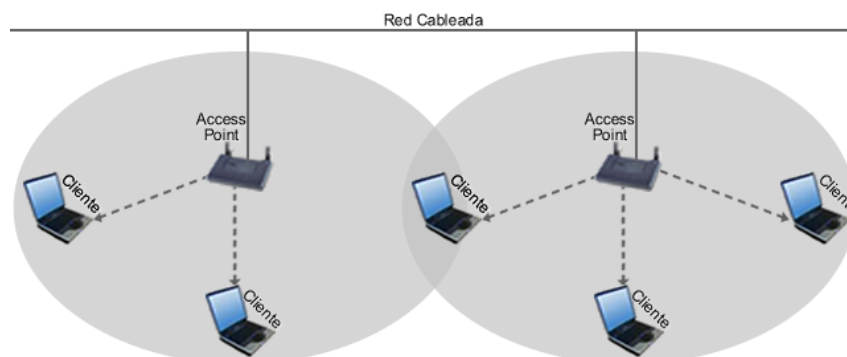


Figura 2.3.1.2.1. *Extended Set Service.*

2.3.2 Ad Hoc.

Una red IBSS (*Independent BSS*) o Ad Hoc (autómata por demanda) como también se le llama es el tipo más simple de redes 802.11. En su forma más sencilla basta con tener dos terminales cada una con su propio adaptador de red, las cuales se pueden comunicar directamente usando sus propios recursos de comunicación y no los recursos de una infraestructura de comunicaciones externa, fija y administrada por terceros; cabe hacer mención que esta configuración no incluye puntos de acceso. [ENGS03]

Debido a que esta red está formada únicamente de estaciones que se comunican directamente, también se le conoce con el nombre de *peer – to – peer* (igual – a – igual).

La figura 2.3.2.1 nos muestra una red ad hoc con cuatro estaciones, aunque es también importante mencionar que puede tener cualquier número de miembros. Para tener comunicación fuera de la red ad hoc, es necesario que una de las estaciones actúe como *gateway* o router. Una de las principales desventajas de este tipo de redes es su área de cobertura, la cual es pequeña debido a que las terminales que participan en ella deben ser capaces de oírse entre ellas mismas.

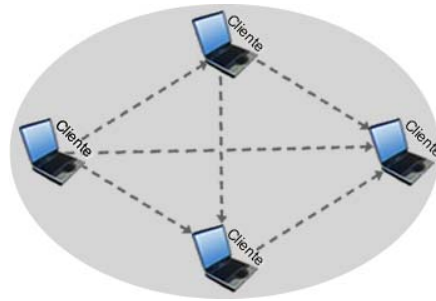


Figura 2.3.2.1. Ad Hoc.

2.4 Voz sobre IP.

En el año de 1876 se envió la primera transmisión de voz, este evento fue realizado por Alexander Graham Bell y se llevó a cabo con un circuito *ring – down*, lo cual significa que no hay marcación de número, sino que un cable conectaba físicamente dos dispositivos y una persona descolgaba el teléfono y otra estaba en el otro extremo, no existía una llamada como tal, este esquema evolucionó a la transmisión de voz en un sentido y posteriormente a la transmisión de voz bidireccional; para que esto se pudiera dar se necesitaba de un cable físico entre cada ubicación al que el usuario quería llamar, un ejemplo de este hecho se puede apreciar en la figura 2.4.1. [DAVI01] Ha transcurrido más de un siglo desde que los eventos citados tuvieron lugar y el envío de voz ha revolucionado totalmente el campo de las transmisiones.

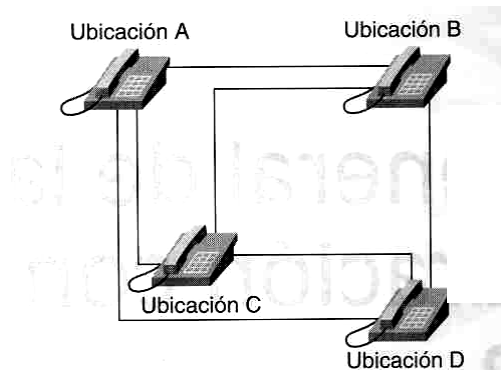


Figura 2.4.1. Red básica de cuatro teléfonos.

Actualmente se conoce el concepto de VoIP, el cual se puede definir como un conjunto de aplicaciones que permiten la transmisión de voz en vivo a través de Internet utilizando los protocolos TCP/IP. Este tipo de aplicaciones, supone un enorme ahorro para los usuarios en llamadas de larga distancia y un potencial problema para los operadores de telefonía de voz.

El estándar VoIP, fue definido en 1996 por la ITU (*International Telecommunications Union*) el cual proporciona a los diversos fabricantes una serie de normas con el fin de que puedan evolucionar en conjunto.

Por su estructura el estándar proporciona las siguientes ventajas:

- Permite el control del tráfico de la red, por lo que se disminuyen las posibilidades de que se produzcan caídas importantes en el rendimiento de las redes de datos.
- Proporciona el enlace a la red telefónica tradicional.
- Al tratarse de una tecnología soportada en IP presenta las siguientes ventajas adicionales:
 - Es independiente del tipo de red física que lo soporta. Permite la integración con las grandes redes IP actuales.
 - Es independiente del hardware utilizado.
 - Permite ser implementado tanto en software como en hardware, con la particularidad de que el hardware supondría eliminar el impacto inicial para el usuario común.

Podemos decir que independientemente del protocolo que se esté utilizando al menos se cuenta con tres elementos fundamentales en la estructura de un entorno de VoIP: El cliente, el servidor y el *gateway*.

2.4.1 Terminales o Clientes.

La terminal o el cliente, es el elemento que establece y termina las llamadas de voz; codifica, empaqueta y transmite la información de salida generada por el micrófono del usuario. Asimismo, recibe, decodifica y reproduce la información de voz de entrada a través de las bocinas o audífonos del usuario.

Una terminal o cliente, es el sustituto del teléfono convencional como el que tenemos en nuestras casas; el cual puede ser un dispositivo en hardware (*hardphone*) o software (*softphone*, éste será empleado en los experimentos de la presente tesis). Algunos ejemplos se presentan en la figura 2.4.1.1.



Vídeo Teléfono IP-HW



Softphone-SW

Figura 2.4.1.1. Teléfonos IP.

Softphone.

Un *softphone* (palabra que proviene del inglés como una combinación de *Software* y de *Telephone*) es un software que hace una simulación de teléfono convencional por computadora. Es decir, permite usar la computadora para hacer llamadas a otros *softphones* o a otros teléfonos convencionales usando un VSP (acrónimo en inglés de *VoIP Service Provider* o bien Proveedor de Servicios de VoIP). Los VSP son empresas dedicadas a conectar por teléfono a los usuarios de Software VoIP, usuarios de teléfonos convencionales y celulares usando un software de centralita telefónica o PBX. [WIKI06]

Un *softphone* es típicamente parte de un entorno VoIP y puede estar basado en el estándar SIP (Protocolo de inicio de sesión) / H.323 (estándar de videoconferencia) o uno propietario. Hay muchas implementaciones disponibles, como la ampliamente disponible Microsoft Windows Messenger o NetMeeting.

Entre los típicos *softphone* basados en SIP podemos encontrar los siguientes: eyeBeam de CounterPath (antiguamente Xten), OpenWengo, Nexge, sipXphone, Adore Softphone, Express Talk y SJphone.

2.4.2 Servidores de Voz.

El segundo elemento de la Voz sobre IP son los servidores, los cuales manejan un amplio rango de operaciones complejas de bases de datos, tanto en tiempo real como fuera de él. Estas operaciones incluyen validación de usuarios, contabilidad, tarificación, recolección, distribución de utilidades, enrutamiento, administración general del servicio, carga de clientes, control del servicio, registro de usuarios y servicios de directorio entre otros.

Un servidor de la voz (telefónica central) es un sistema privado que permite la conmutación, del tráfico interno entre sus extensiones y asegura la interconexión, tanto para el tráfico de entrada, como para el tráfico de salida a la red pública.

PBX.

PBX es el acrónimo de *Private Branch eXchange*, el cual es un sistema telefónico al interior de una empresa que conmuta llamadas entre los usuarios de VoIP en líneas locales, mientras permite a todos los usuarios compartir cierto número de líneas telefónicas externas. El PBX IP típico también puede conmutar llamadas entre un usuario VoIP y un usuario de la telefonía tradicional, o entre dos usuarios de telefonía tradicional, haciéndolo de la misma forma. En sus inicios una persona conectaba manualmente cables para establecer comunicaciones en lo que era conocido como un PMBX (PBX Manual). Este dispositivo fue reemplazado por un dispositivo electromecánico automático y sistemas electrónicos de conmutación llamados PABX (PBX automático) que desplazaron al PMBX hasta hacerlo casi inexistente, entonces PABX y PBX se convirtieron en sinónimos.

El uso de un PBX evita conectar todos los teléfonos de una empresa de manera separada a la red de telefonía local pública PSTN, evitando a su vez que se tenga que contar con una línea propia con cargos mensuales y salidas de llamadas hacia la central telefónica que regresan nuevamente para comunicarse internamente.

El PBX se instala frecuentemente en las empresas que requieren el servicio y conecta llamadas entre los teléfonos instalados ahí. Además tiene un número limitado de líneas externas disponibles para hacer llamadas al sitio. Las compañías con múltiples sedes pueden conectar juntos sus PBX a través de líneas troncales.

2.4.3 Gateways.

Gateway de Voz sobre IP, proporcionan un puente de comunicación entre los usuarios. La función principal de un *gateway* es proveer las interfaces con la telefonía tradicional apropiada, funcionando como una plataforma para los clientes virtuales. Es decir, se trata del enlace con la red telefónica tradicional, actuando en forma transparente para el usuario.

2.4.4 Protocolos.

Es el lenguaje que utilizarán los distintos dispositivos VoIP para su conexión. Esta parte es muy importante ya que de ella dependerá la eficacia y la complejidad de la comunicación

Durante los últimos años, las compañías de telecomunicaciones han considerado posibles estándares para implantarse en las líneas de producción de equipo de VoIP. Estos estándares se encargan de manejar y controlar de forma eficiente todo lo que se necesita para establecer llamadas telefónicas de buena calidad. Algunos de éstos son: Megaco (también

conocido como H.248) y MGCP (*Media Gateway Control Protocol*) ambos protocolos de control, *Skinny Client Control Protocol* (protocolo propietario de Cisco), MiNet (protocolo propietario de Mitel), CorNet-IP (protocolo propietario de Siemens), IAX, Skype (protocolo propietario *peer-to-peer* utilizado en la aplicación Skype), Jajah (protocolo propietario *peer-to-peer* utilizado en los teléfonos-web Jajah SIP, IAX y compatibles) y IAX2. Adicionalmente a todos estos, existen dos opciones que son las más utilizadas actualmente: [VOZD06]

- El protocolo H.323 (originalmente pensado para comunicación multimedia dentro de una LAN).
- El Protocolo SIP.

SIP.

SIP es un estándar desarrollado por la Fuerza de Tareas en Ingeniería de Internet (IETF), identificado como RFC 3261, 2002 (*Request for Comments*). SIP es un protocolo de señalización para establecer las llamadas y conferencias en redes IP. El inicio de la sesión, cambio o término de la misma, son independientes del tipo de medio o aplicación que se estará usando en la llamada; una sesión puede incluir varios tipos de datos, pudiendo ser estos: audio, vídeo y muchos otros formatos.

El propósito de SIP es la comunicación entre dispositivos multimedia. SIP hace posible esta comunicación gracias a dos protocolos que son RTP (*Real Time Protocol*) / RTCP (*Real Time Control Protocol*) y SDP (*Session Description Protocol*). El protocolo RTP se usa para transportar los datos de voz en tiempo real (igual que para el protocolo H.323, mientras que el protocolo SDP se usa para la negociación de las capacidades de los participantes, tipo de codificación, etc.).

SIP es un protocolo de señalización a nivel de aplicación para establecimiento y gestión de sesiones con múltiples participantes. Se basa en mensajes de petición y respuesta y reutiliza muchos conceptos de estándares anteriores como HTTP y SMTP. Por otra parte, soporta funcionalidades para el establecimiento y finalización de las sesiones multimedia: localización, disponibilidad, utilización de recursos y características de negociación.

Los dos elementos fundamentales para implementar SIP son los agentes de usuario (UA) y los servidores:

User Agent (UA): Consiste en dos partes distintas, el *User Agent Client* (UAC) y el *User Agent Server* (UAS). Un UAC es una entidad lógica que genera peticiones SIP y recibe respuestas a esas peticiones. Un UAS es una entidad lógica que genera respuestas a las peticiones SIP.

Los *servidores* SIP pueden ser de tres tipos:

- *Proxy Server*: Retransmiten solicitudes y deciden a que otro servidor deben remitir, alterando los campos de la solicitud en caso necesario. Es una entidad intermedia que actúa como cliente y servidor con el propósito de establecer llamadas entre los usuarios. Este servidor tiene una funcionalidad semejante a la de un Proxy HTTP que tiene la tarea de encaminar las peticiones que recibe de otras entidades más próximas al destinatario.
- *Registrar Server*: Es un servidor que acepta peticiones de registro de los usuarios y guarda la información de estas peticiones para suministrar un servicio de localización y traducción de direcciones en el dominio que controla.
- *Redirect Server*: Es un servidor que genera respuestas de redirección a las peticiones que recibe. Este servidor reencamina las peticiones hacia el próximo servidor.

Los dos componentes de un sistema SIP también son conocidos como cliente y servidor respectivamente. El cliente inicia las peticiones SIP y el servidor recibe las peticiones y devuelve las respuestas en nombre del usuario.

Las partes que llaman y son llamadas se identifican con direcciones SIP, también llamadas localizadores universales de recursos URL SIP, existen en la forma de usuarios @host. Similar a una dirección de correo electrónico, un URL SIP se identifica por usuario@host. La parte de usuario de la dirección puede ser un nombre de usuario o un número de teléfono y la parte de host puede ser un nombre de dominio o una dirección de red; ver ejemplos en la tabla 2.4.4.1.

Tabla 2.4.4.1. Ejemplos de direcciones SIP.

Sip:	ciscopress@cisco.com
Sip:	085262222@171.171.171.1

SIP es un protocolo textual que usa una semántica semejante a la del protocolo HTTP. Los UAC realizan las peticiones y los UAS retornan respuestas a las peticiones de los clientes. SIP define la comunicación a través de dos tipos de mensajes. Las solicitudes (métodos) y las respuestas (códigos de estado) empleando el formato de mensaje genérico establecido en el RFC.

La comunicación SIP presenta seis tipos de peticiones de mensaje, las cuales permiten a los agentes de usuarios y servidores de red localicen, inviten y administren llamadas. Estas peticiones están caracterizadas por la línea inicial del mensaje, llamada Request-Line, que contiene el nombre del método, el identificador del destinatario de la petición (Request-URI) y la versión del protocolo SIP. Las seis peticiones SIP definidas en el RFC 254 son las siguientes:

- *Invite*: Le indica a un usuario o servicio que es invitado a participar en una sesión.
- *Ack*: Corresponden a una petición *Invite*. Representan la confirmación última por parte del sistema final y concluye la transacción iniciada por el comando *Invite*.
- *Options*: Permite consultar y reunir posibilidades de agentes de usuarios y servidores de red. Sin embargo, esta petición no se usa para establecer sesiones.
- *Bye*: Se usa por las partes que llaman y son llamadas para liberar una llamada.
- *Cancel*: Permite a los clientes y servidores cancelar cualquier petición en progreso.
- *Register*: Usado por los clientes para registrar información de localización con los servidores SIP.

H.323.

H.323 fue el primer estándar internacional de comunicaciones multimedia, que facilitaba la convergencia de voz, vídeo y datos. Fue inicialmente construido para las redes basadas en conmutación de paquetes, en las cuales encontró su fortaleza al integrarse con las redes IP, siendo un protocolo muy utilizado en VoIP.

El objetivo principal del diseño de este estándar era proveer a los usuarios de teleconferencias con capacidades de voz, vídeo y datos sobre redes de conmutación de paquetes. Entre sus objetivos adicionales podemos mencionar:

- Basarse en los estándares existentes, incluyendo H.320 (protocolo de telefonía anterior al H.323 de videoconferencia punto a punto), RTP y Q.931 (protocolo de control de la conexión en ISDN).
- Incorporar algunas de las ventajas que las redes de conmutación de paquetes ofrecen para transportar datos en tiempo real.
- Solucionar la problemática que plantea el envío de datos en tiempo real sobre redes de conmutación de paquetes.

Dado que los requisitos de comunicación difieren de un lugar a otro, entre usuarios y compañías y con el supuesto de que éstos también cambian, los diseñadores de H.323 lo definieron de tal manera que las empresas que manufacturan los equipos pueden agregar sus propias especificaciones al protocolo y pueden definir otras estructuras de estándares que permiten a los dispositivos adquirir nuevas clases de características o capacidades.

Los principales componentes de este estándar son:

Terminal: Una terminal H.323 es un extremo de la red que proporciona comunicaciones bidireccionales en tiempo real con otra terminal H.323. Conforme a la especificación, una terminal H.323 puede proporcionar sólo voz, voz y datos, voz y vídeo, o bien voz, datos y vídeo.

Gateway: Se trata del enlace con la red telefónica tradicional, actuando en forma transparente para el usuario.

Gatekeeper: Son el centro de toda la organización VoIP y serían el sustituto para las actuales centralitas. Normalmente implementadas en software, en caso de existir, todas las comunicaciones pasarían por él.

Con estos tres elementos la estructura de la red quedaría como se ve representada en la figura 2.4.4.2

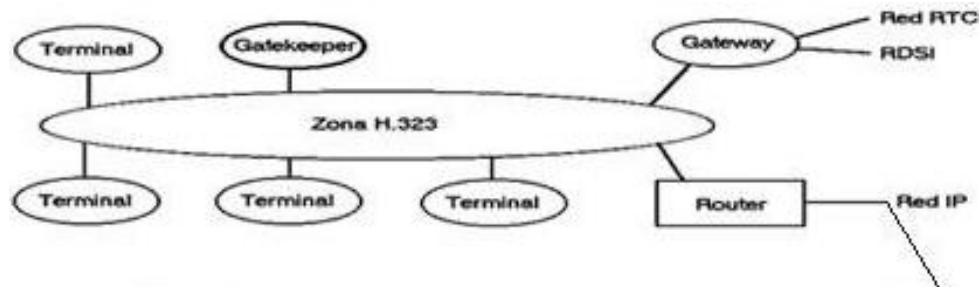


Figura 2.4.4.2. Elementos de una red para VoIP.

Cuando una terminal arranca, la cual puede ser en *hardware* o *software* viene un proceso de reconocimiento y registro por parte del *gatekeeper* (que es quien coordina las llamadas) y luego viene el inicio de una comunicación; en ella primero hay una negociación del codec a usar por parte del protocolo elegido, en la figura 2.5.4.2., el protocolo que se está utilizando es el H.323. En caso de que la llamada salga de la red IP, entra en juego el *gateway* para hacer el enlace.

2.4.5 Codecs.

Un codec es un algoritmo (programa) que se utiliza para codificar y decodificar una conversación de voz sobre IP. El sonido y las voces que escuchamos son analógicos y necesitan ser convertidos (codificados) en un formato que permita la transmisión a través de la red de forma digital. En el extremo receptor, la voz debe ser decodificada y convertida en sonido entendible por las personas. Existen distintas formas de codificar la voz. Por lo general, los codecs utilizan compresión para poder reducir el ancho de banda requerido. Un factor importante a tener en cuenta es que la compresión puede ocasionar retrasos en la comunicación, ya que requiere tiempo y poder de procesamiento. [INTR06]

Cada dispositivo de VoIP soporta un conjunto de codecs y cuando se establece una llamada los dos extremos tienen que negociar y acordar que codec utilizar. Este proceso es automático y quien se encarga de él, es el protocolo que se esté utilizando.

Los codecs se pueden clasificar en tres grupos:

- *Codificadores de la forma de onda:* tratan de reproducir la forma de onda de la señal de entrada en el dominio del tiempo o en el de la frecuencia. Presentan una degradación aceptable en presencia de ruido y errores de transmisión y resultan efectivos para velocidades medias. Hay dos tipos que son:
 - *Codificación en el dominio del tiempo:* Como son PAM (*Pulse Amplitude Modulation*), PPM (*Pulse Position Modulation*), PWM (*Pulse Width Modulation*), PCM (*Pulse Code Modulation*), DPCM (*Differential Pulse Code Modulation*) y ADPCM (*Adaptive Differential Pulse Code Modulation*), entre otros.
 - *Codificación en el dominio de la frecuencia:* Esta forma de codificación es muy compleja, y como ejemplos se tienen las técnicas DCT (*Discrete Cosine Transform*) y DFT (*Discrete Fourier Transform*).
- *Vocoders:* Los *Voice CODERS* intentan generar una señal de voz que suene igual que la original, independientemente de si la forma de onda se parece o no. En el emisor se analiza la señal de voz y se extraen los parámetros del modelo y la excitación; esta información se envía al receptor, el cual sintetiza la voz. El vocoder más utilizado es el de predicción lineal LPC (*Linear Predictive Code*). Estos mantienen una muy buena economía en la tasa de bit de transmisión y son en general más complejos; además, logran una mejor compresión ya que toman en cuenta la manera en la que las palabras se hablan y se escuchan. Otros vocoders son: *channel vocoder, formant vocoder, cepstrum vocoder y voice excited vocoder.*
- *Los híbridos o paramétricos:* son una mezcla de los dos tipos anteriores. Utilizan un modelo paramétrico de producción de voz y tratan de preservar las partes más importantes, perceptualmente hablando, de la forma de onda de la señal de entrada. Uno de los más importantes es: RELP (*Residual Excited Linear Prediction*).

Otro aspecto importante en cuanto a los codecs, son los factores que se deben tener en cuenta al momento de seleccionarlo. Estos son mencionados a continuación:

- Algunos codecs suenan mejor pero requieren más ancho de banda y procesamiento. Otros, en cambio, tienen menor calidad pero son más rápidos. La elección del codec debe equilibrar calidad de sonido, con el menor ancho de banda posible y en el menor tiempo.

- MOS (*Mean Opinion Score*) es un valor subjetivo donde un gran número de usuarios califican la calidad de sonido con respecto a un codec en particular. El MOS es un valor estadístico donde 5 es excelente y 1 es pobre y es la medida más popular de claridad según especificación UIT-P.800. [FERR04]
- Otro factor a tener en cuenta es el hardware. Si se utiliza un *softphone*, el retardo de codificación y compresión puede ser importante si hay otros programas que estén compitiendo por los recursos de la máquina. En cambio, el hardware especializado para voz sobre IP posee un procesador independiente y especializado para codificar la voz.
- La utilización de la red y el ancho de banda disponible son por último el factor más importante para una buena comunicación.

La literatura reporta que los codecs más utilizados para VoIP son: g711a, g711u, g726, g728, g729, iLBC, gsm y speex. La tabla 2.4.5.1 presenta un resumen de sus principales características. [VOIP06]

Tabla 2.4.5.1. Características de algunos codecs.

Nombre	Estandarizado	Descripción	Ancho de Banda (kb/s)	Sampling Rate(kHz)	Frame size (ms)	Observaciones	MOS
G.711	ITU-T	Pulse code modulation (PCM)	64	8	Muestreada	Tiene dos versiones u-law (US, Japan) y a-law (Europa) para muestrear la señal ADPCM; reemplaza a G.721 y G.723.	4.1
G.726	ITU-T	40, 32, 24, 16 kb/s adaptive differential pulse code modulation (ADPCM)	16/24/32/40	8	Muestreada		3.85
G.728	ITU-T	Coding of speech at 16 kbit/s using low-delay code excited linear prediction	16	8		CELP (<i>code excited linear prediction</i>)	3.61
G.729	ITU-T	Coding of speech at 8 kb/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear-prediction (CS-ACELP)	8	8	10	Bajo retardo (15 ms)	3.92
GSM 06.10	ETSI	RegularPulse Excitation Long-Term Predictor (RPE-LTP)	13	8	22.5	Usado por la tecnología celular GSM	
Speex			8, 16, 32	2.15 a 24.6 (NB) 4 a 44.2 (WB)	30 (NB) 34 (WB)		
iLBC			8	13.3	30		

WB = Wideband, NB = Narrowband

2.5 Calidad de Servicio QoS.

La calidad de servicio, también conocida como QoS (*Quality of Service*) en Internet y otras redes, designa la posibilidad de medir, mejorar y en alguna forma garantizar por adelantado los índices de transmisión y error. QoS es un término usado en el ámbito de las redes el cual es más complejo de lo que podría sonar; la QoS se refiere al hecho de ser capaces de controlar y medir las tasas de transmisión de datos, el rendimiento de la red y las tasas de error. Específicamente la QoS se refiere a implementar garantías de encontrar tasas de transmisión de datos y porcentajes de error específicos. [PERE02]

Los creadores de Internet no pensaron que sería un medio masivo de comunicación, pero si vieron la necesidad de poder proveer QoS al manejar diferentes flujos de datos. Es por eso que se implementó el byte ToS (*Type of Service*) en el encabezado IP como parte de una especificación inicial. Hasta finales de los años 80's Internet era de uso limitado, por esta razón el byte ToS no era necesariamente importante y casi todas las aplicaciones IP lo ignoraban, de igual modo, los ruteadores no lo usaban como parte de sus funciones de enrutamiento y transporte. Estos tenían configurado el mecanismo de enrutamiento FIFO (*First In First Out*) por lo que el primer paquete que llegaba era el primer paquete que salía. No había una forma de diferenciar o priorizar el tráfico y el encolamiento FIFO causaba pérdidas de paquetes cuando había congestión en el ruteador. [VEGE01]

A medida que se incrementó el uso de Internet nuevos algoritmos fueron usados para evitar las pérdidas de paquetes causadas por su mal encolamiento. Además, el uso del byte ToS del paquete IP se fue incrementando. Este byte es el mecanismo primario de QoS que sirve para diferenciar tráfico. La IETF ha creado un grupo de trabajo llamado Grupo de Trabajo de Servicios Diferenciados (*Differentiated Services Working Group*) el cual está tratando de estandarizar su uso.

Para soportar aplicaciones de voz, vídeo y datos con ciertos requerimientos en una red IP, el sistema en la misma red necesita diferenciar y dar servicio a los diferentes tipos de tráfico basado en sus necesidades. Con el servicio proveído del mejor esfuerzo no se puede diferenciar el tráfico entre los miles de flujos que existen en Internet. Por lo tanto, no se pueden separar ni garantizar los diferentes flujos de tráfico que pueden existir en la red IP. Debido a esta carencia, las redes IP no son un medio que garantice una buena transmisión de datos que requieran recursos de red. Este tipo de servicio del mejor esfuerzo es el más expandido y más común en las redes IP, por lo tanto, surgió la necesidad de mejorar el servicio convencional.

La Calidad de Servicio está diseñada para proveer servicios diferenciados y garantizados por medio del control de recursos y control de uso de la red por el administrador.

Algunos de los beneficios que se obtienen al implementar QoS son:

- Soportar aplicaciones multimedia como voz sobre IP (VoIP) y videoconferencias, las cuales requieren reservar recursos de red para tener un desempeño aceptable.
- Le permite al administrador de la red tener el control de los recursos de la misma.
- Provee garantías de servicio y diferenciación de tráfico lo que permite mezclar tráfico de voz, vídeo y datos en un solo enlace IP de manera transparente al usuario.
- Permite a los ISPs ofrecer servicios preferentes al diferenciar o garantizar recursos de red para cierto cliente en comparación con otros que funcionan con el esquema del mejor esfuerzo.
- Tratar de diferente manera a paquetes dependiendo del tipo de aplicación especificada dentro del encabezado IP.

Los tres parámetros básicos que se consideran para poder medir y cuantificar el desempeño de la red en términos de QoS son:

- *Latencia o Retraso*: Retraso en la entrega de paquetes.
- *Variación del Retardo entre paquetes o Jitter*: Variaciones en el retraso de la entrega de paquetes.
- *Paquetes perdidos*: Mucho tráfico en la red causa que se puedan perder paquetes.

En el contexto de esta investigación, el hecho de recibir un paquete en el instante que el remitente quiere que sea recibido es complejo y construir una red para ejecutar VoIP también lo es. La QoS apropiada es el paso más importante que hay que dar para asegurar una buena calidad de voz.

2.5.1 Medidas del Desempeño de una Red.

QoS tiene como finalidad proveer una conexión con cierto desempeño que permita adecuarse a las necesidades requeridas dentro de la red. Por lo tanto, se necesitan parámetros que permitan cuantificar el desempeño. Como se mencionó anteriormente, los más comunes son: latencia, variación del retardo y las pérdidas de paquetes.

Latencia o Retardo.

La latencia o retraso en VoIP se caracteriza por el tiempo que tarda la voz en salir de la boca del que está hablando y en llegar al oído del que está escuchando, en otras palabras, es el tiempo que tarda un paquete de datos entre dos puntos determinados.

Existen tres tipos de retrasos que son inherentes a las redes de telefonía actuales: retraso de propagación, retraso de manejo y retraso de serialización. El retraso de propagación es causado por la velocidad de la luz en la fibra óptica o en las redes basadas en cobre. El retraso de manejo o de procesamiento, define muchas causas diferentes de retraso y es causado por dispositivos que transmiten la trama a través de la red. El retraso de serialización es la cantidad de tiempo que se tarda en colocar un bit o byte en una interfaz. Sin embargo, en una red basada en paquetes también se sufren retrasos por otras razones; dos de éstas son: el tiempo que se necesita para mover un paquete hasta la cola de salida (conmutación de paquetes) y el retraso de la gestión de colas (*buffers*). [DAVI01]

Cuando los paquetes se guardan en una cola debido a la congestión en una interfaz *outbound* (de salida) el resultado es un retraso en la gestión de colas. Este tipo de retrasos ocurre cuando se envían más paquetes de los que la interfaz puede manejar en un intervalo de tiempo dado.

El retraso en la gestión de colas de la cola de salida es otra causa de retraso. Este retraso debe estar por debajo de 10 ms siempre que se pueda utilizando cualquier método de gestión de colas que sea óptimo para la red. [DAVI01]

La recomendación G.114 de la ITU-T especifica que para una buena calidad de voz no debe darse un retraso mayor de 150 ms de una vía, de extremo a extremo. Ver figura 2.5.1.1. [DAVI01, PERE06]

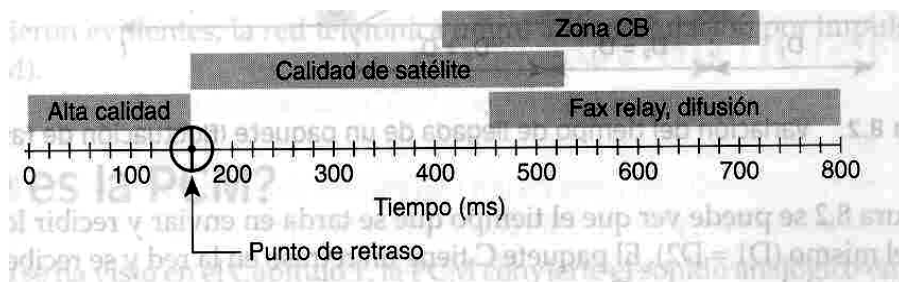


Figura 2.5.1.1. Retraso extremo a extremo.

En la figura 2.5.6.1 podemos apreciar que algunas formas de retraso son más largas, aunque están aceptadas, dado que no existe alternativa, por lo que podemos decir que la calidad de voz viene a menudo definida como lo que los usuarios aceptan y utilizan.

Variación del Retardo.

En una red no administrada y congestionada, el retraso en la gestión de colas puede agregar más de dos segundos de retraso o bien provocar que algún paquete se caiga. Este largo período de retraso es inaceptable en casi todas las redes de voz. El retraso en la gestión de colas es sólo un componente del retraso de extremo a extremo, éste también se ve afectado por la variación del retardo entre paquetes o *jitter*. [DAVI01]

La variación del retardo entre paquetes (*jitter*) es la variación en los tiempos de llegada entre los paquetes. La variación del retardo entre paquetes es un problema que existe sólo en las redes basadas en paquetes. Cuando se está en un entorno de voz por paquetes, el remitente espera transmitir de forma fiable paquetes de voz en un intervalo regular; sin embargo, esos paquetes de voz se pueden retrasar por toda la red y no llegar con el mismo intervalo de tiempo regular a la estación receptora. La diferencia entre cuando se esperaba recibir el paquete y cuando se recibe es lo que se llama la variación del retardo entre paquetes. Ver figura 2.5.1.2. [DAVI01]

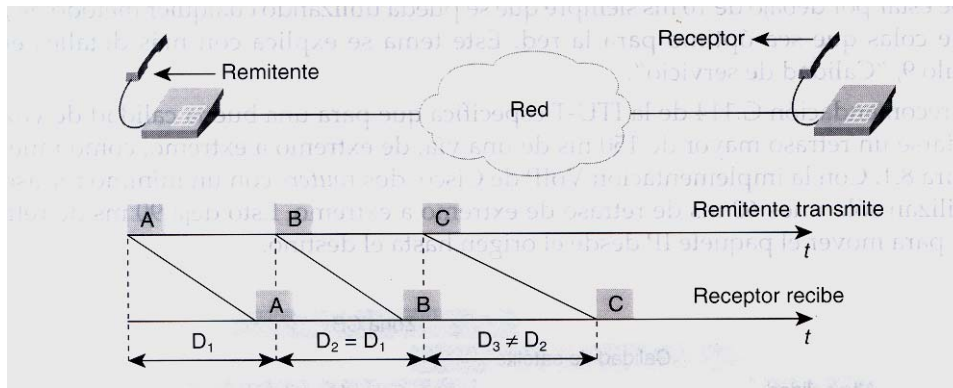


Figura 2.5.1.2. Variación del tiempo de llegada de un paquete (variación del retardo entre paquetes).

En la figura anterior se puede apreciar que el tiempo que se tarda en enviar y recibir los paquetes A y B es el mismo ($D_1=D_2$). El paquete C tiene un retraso en la red y se recibe después del tiempo en que se le esperaba. Por esta razón es necesario un búfer para que oculte el retraso.

Para minimizar este factor los paquetes entrantes han de ser introducidos en un buffer y desde allí, enviados a intervalos estándar. La tasa de la variación del retardo entre paquetes debe estar por debajo de los 50ms para que sea aceptable. [DAVI01, PERE06]

Pérdida de Paquetes.

En las redes de datos, la pérdida de paquetes es común y esperada. De hecho muchos protocolos de datos utilizan la pérdida de paquetes para conocer las condiciones de la red y poder reducir el número de paquetes que están enviando.

Cuando se genera un tráfico muy intenso en las redes de datos, es importante controlar la cantidad de pérdida de paquetes que hay en esa red, por lo que resulta de gran ayuda poder utilizar un mecanismo para hacer que la voz sea resistente a la pérdida periódica de paquetes.

Un método de solución consiste en que si un paquete de voz no se recibió cuando se esperaba, se da por hecho que se ha perdido y se vuelve a repetir el último paquete recibido. Sin embargo, como el paquete perdido sólo tiene 20 ms de voz, el oyente medio no apreciará la diferencia en la calidad de la voz. La estación receptora espera durante un período de tiempo (por su búfer) y luego ejecuta una estrategia de ocultación.

Esta estrategia de ocultación vuelve a repetir el último paquete recibido por lo que el oyente no aprecia que haya lagunas de silencios. Como la voz perdida es de 20ms, el oyente no apreciará la diferencia. Se puede realizar esta estrategia de ocultación sólo si se pierde un único paquete. Si se perdieran múltiples paquetes de forma consecutiva, la estrategia de ocultación se ejecuta sólo una vez hasta que se reciba otro paquete. El tráfico de datos normales permite una cantidad relativamente alta de paquetes perdidos, con más del 1% de todo lo que se envía, sin embargo, el tráfico de voz tiene los requerimientos más estrictos y éste debe de aproximarse a cero para que sea aceptable.

Eco.

Además de los tres factores anteriormente mencionados, el eco en una conversación puede ir desde lo ligeramente molesto hasta lo insoportable, provocando que la conversación no sea entendible.

Oír la propia voz por el auricular mientras se está hablando es común y tranquilizador para la persona que está hablando. Sin embargo, oír la propia voz después de un retraso de 25 ms puede provocar interrupciones y romper la conversación.

El eco tiene dos inconvenientes: puede ser alto y puede ser largo. Cuando más alto y largo es, más incómodo resultará.

Una alternativa al eco es usar canceladores de eco en codecs de velocidad de transmisión baja o bien mediante software.

Por último, para cumplir con los requerimientos de QoS para VoIP la utilización del ancho de banda no debe superar el 25% o su equivalencia en porcentaje de colisiones, el

cual no debe superar el 45%. El ancho de banda va en relación entre los distintos algoritmos de compresión de voz utilizados y el ancho de banda requerido por los mismos.

2.5.2 Protocolos de Importancia de QoS.

RTP.

RTP son las siglas de *Real-time Transport Protocol* (Protocolo de Transporte de Tiempo Real). Es un protocolo utilizado para la transmisión de información en tiempo real, en aplicaciones en que una fuente genera un flujo de datos a velocidad constante y uno o más dispositivos de destino entregan esos datos a una aplicación a la misma velocidad constante, como en el caso de videoconferencia y audio.

Desarrollado por el grupo de trabajo de transporte de Audio y Vídeo del IETF, publicado por primera vez como estándar en 1996 como el RFC 1889, y actualizado posteriormente en 2003 en el RFC 3550, que constituye el estándar de Internet STD 64. Inicialmente se publicó como protocolo multicast, aunque se ha usado en varias aplicaciones unicast. Se usa frecuentemente en sistemas de *streaming* (término que describe una estrategia sobre demanda para la distribución de contenido multimedia a través del Internet) junto a videoconferencia y sistemas *push to talk* (en conjunción con H.323 o SIP). Representa también la base de la industria de VoIP. [WIKI06]

El RFC 1809 obsoleta por el RFC 3551 (STD 65) define un perfil para conferencias de audio y vídeo con control mínimo. El RFC 3711 por otro lado, define SRTP (*Secure Real-time Transport Protocol*) una extensión del perfil de RTP para conferencias de audio y vídeo que puede usarse opcionalmente para proporcionar confidencialidad, autenticación de mensajes y protección de reenvío para flujos de audio y vídeo.

Protocolo utilizado para la transmisión de información en tiempo real, al cual se le agrega a cada trama la identificación del tipo de información que contiene, el número de secuencia y la hora en que fue generada. Esto permite que el receptor transmita la información al usuario al mismo ritmo en que fue generada y permite conocer si hubo descartes de información. [CHAN06]

El protocolo RTP, va de la mano de RTCP (*RTP Control Protocol*) y se sitúa sobre UDP en el modelo OSI.

RTCP.

RTCP es un protocolo definido en el RFC 3550, el cual trabaja en conjunto con RTP brindándole información de control. [WIKI06]

RTCP da soporte a RTP para la entrega y el empaquetado de datos multimedia, pero no transporta ningún dato por si mismo; se utiliza periódicamente para transmitir los paquetes del control a los participantes en una sesión multimedia, la cual lleva información sobre la calidad de la comunicación. La función principal de RTCP es proporcionar la regeneración de la QoS a RTP. [CHAN06]

RTCP recopila estadísticas sobre como se conectan los medios e información tal como *bytes* enviados, paquetes enviados, paquetes perdidos, *jitter* y retraso. Por ejemplo, una aplicación puede utilizar esta información para aumentar la QoS usando un codec de baja compresión en vez de uno de alta compresión.

RTCP no proporciona ningún método de encriptación y autenticación, sin embargo, para satisfacer estas demandas se podría utilizar el protocolo SRTCP (*Secure Real-time Transport Protocol*).

Estándar 802.11e.

Mientras que la transferencia de sonido y datos ha sido una de las principales atracciones para la mayoría de los usuarios de redes inalámbricas, la próxima aplicación relevante será el vídeo, descargar películas desde Internet o bien ver vídeo transmitido en un portátil o en un PDA a través de una conexión inalámbrica es el futuro. Actualmente, el estándar 802.11g puede transmitir vídeo, sin embargo, la calidad de los servicios afecta al rendimiento. La imagen de vídeo puede ser regular, aunque se detiene cuando la red se satura.

Hasta ahora las conexiones inalámbricas no habían sido capaces de dar prioridad a este tipo de transmisiones, esto hace que se provoquen saltos al reproducir música o vídeo por ejemplo.

La nueva especificación inalámbrica 802.11e, mejora este tipo de transmisiones y además, ya cuenta con la aprobación del IEEE. El estándar 802.11e, está dirigido a los requerimientos de QoS para todas las interfaces IEEE WLAN de radio, en las cuales es crítico en algunas de sus aplicaciones tales como *Voice over Wireless IP* (VoWIP) y el vídeo.

La especificación 802.11e es un conjunto de tecnologías que dan prioridad a cierto tráfico y pueden prevenir colisiones de paquetes y retrasos, con lo cual se mejoran las transmisiones.

En WLANs basadas en el estándar 802.11, todos los usuarios comparten las capacidades de la red y un paquete no tiene prioridad sobre ningún otro, sin embargo, este hecho no genera ningún problema con aplicaciones típicas de datos tales como intercambio de e-mail y el despliegado de una página Web por ejemplo, no obstante realizar llamadas de voz y transmitir vídeo, requiere que los paquetes atraviesen la red en el momento correcto. Previendo esto, el estándar 802.11e, permite que varios bloques de información sean

transmitidos por la red manejando la prioridad para cuatro clases de tráfico: voz, vídeo, entornos, y *best-effort*. La prioridad en las cuatro clases de tráfico puede ser cambiada, sin embargo, se da especial importancia a las transmisiones de voz.

Otro elemento del estándar es la forma de sincronizar las comunicaciones con los dispositivos de los clientes, se pensó en esto para conservar la vida de la batería en estos dispositivos.

Esta especificación parece ser un buen comienzo para estandarizar las prioridades en las redes inalámbricas LAN; su único inconveniente hasta ahora es el costo de los equipos. [LANU05]

2.6 Modelos para el Patrón de Diseño.

Un modelo es una idealización de la realidad utilizado para plantear un problema, normalmente desde un punto de vista matemático. Es una representación conceptual de un proceso o sistema, con el fin de analizar su naturaleza, desarrollar o comprobar hipótesis o supuestos y permitir una mejor comprensión del fenómeno real, que es representado por el modelo.

Para hacer un modelo hay que plantear una serie de hipótesis, de manera que lo que se quiere representar esté suficientemente plasmado en la idealización, pero que sea lo bastante sencillo como para poder ser manipulado y estudiado.

Los científicos usan dibujos, gráficas, ecuaciones, estructuras tridimensionales o explicaciones en texto libre para comunicar sus modelos (que son ideas, no objetos físicos) a otros científicos. Entre los distintos tipos de modelos comúnmente usados para estos fines podemos encontrar: modelos matemáticos, modelos empíricos o estadísticos, modelos teóricos, modelos deterministas, modelos estocásticos y modelos de caja negra. [GARC06]

Dado que existen muchos tipos de modelos, se puede presentar el hecho de que un fenómeno se pueda plantear por diferentes modelos y para definir si un modelo es correcto se pueden usar los siguientes aspectos:

- El modelo puede *explicar* las observaciones realizadas del fenómeno.
- Se puede usar el modelo para *predecir* el comportamiento del fenómeno modelado.
- El modelo es *consistente* con otras ideas acerca del funcionamiento del fenómeno modelado.

Se dice que un modelo es *acceptable* si cumple con los tres puntos mencionados anteriormente; además puede haber más de un modelo que sea aceptable y también se puede optar por otro modelo en el transcurso de la investigación, es decir, se puede mover.

La presente tesis se desarrolla principalmente en el marco de los modelos teóricos y empíricos o estadísticos, los cuales se detallan a continuación.

- *Teóricos*: Los seres humanos construyen teorías para así explicar, predecir y dominar diferentes fenómenos. En muchas circunstancias, la teoría es vista como un modelo de la realidad. Una teoría hace generalizaciones acerca de observaciones y consiste en un conjunto coherente e interrelacionado de ideas. En la práctica la implementación de modelos teóricos requiere enormes bases de datos de características relativas al entorno, las cuales en la práctica son imposibles de obtener en muchos casos o bien muy difíciles de obtener. [GARC06]
- *Empíricos o Estadísticos*: Se basan en la extrapolación a partir de medidas del fenómeno realizadas sobre el caso. Estos modelos tienen en cuenta de forma implícita las influencias propias del entorno en su conjunto, sin ser reconocidas cada una de ellas de manera aislada. Su precisión depende no sólo de la precisión de las medidas, sino de la similitud entre el entorno donde fueron llevadas a cabo las medidas y el entorno a analizar. [NNPA00, GARC06]

Ambos modelos fueron los elegidos, dado que la presente investigación se basa en los conceptos teóricos que a la fecha se tienen, así como también se desarrolla prácticamente de manera empírica para obtener resultados.

2.7 Estado Actual.

En el Foro *Networkers Solutions* presentado en Acapulco, México en 2004, en la conferencia *Wireless Voice Deployment* se presentaron los datos que se mencionan a continuación. [WIRE04]

Transmitir voz de forma inalámbrica, requiere de movilidad. Y al estar en movimiento la calidad de la voz transmitida no debe de variar. Sin embargo, aunque se ha logrado plenamente la transmisión de datos por radio frecuencia, la transmisión de voz por este mismo medio es muy diferente, principalmente por la rapidez en la que se tiene que dar la itinerancia. Un medio ambiente ideal para la transmisión de voz es aquel en el que:

- Se reduce el ruido.
- Se tiene un traslape adecuado de radio frecuencia, para la itinerancia y adicionalmente, se tiene un segundo punto de acceso disponible en el caso de que el primero se encuentre congestionado y así poder balancear las cargas.

- Se tienen correctas tasas de transmisión de datos.

Como ejemplo mencionaremos el teléfono 7920 de Cisco, para éste, el ambiente ideal para poder operar adecuadamente debe ser:

- Mínimo dos puntos de acceso en canales que no se superpongan con:
 - RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) > 35 (valor mínimo) ó – 67dBm.
 - La carga de CU (QBSS) (*Channel Utilization* para un punto de acceso – *QoS Basic Set Service*) < 45 (valor máximo)

Esta conferencia, se enfocó a la presentación de parámetros necesarios para la transmisión de voz usando el *hardphone* Ideal 7920, los cuales son necesarios en el diseño de nuestro procedimiento, no obstante es solamente una parte de lo que esta investigación propone.

En el artículo *Voice Capacity of IEEE 802.11b, 802.11a and 802.11g Wireless LANs* se describe la realización del siguiente experimento: El escenario fue un sistema DCF 802.11 en modo de infraestructura, asumiendo llamadas VoIP *full duplex* donde cada llamada se realizó entre un nodo inalámbrico y una estación cableada. Cada llamada de voz fue modelada de acuerdo a las recomendaciones del ITU y se utilizó un codec G.711, se asumieron cero retrasos en la parte cableada y se ignoraron todos los retrasos de propagación. Se enfocaron a presentar resultados obtenidos analíticamente y mediante simulación de la transmisión de voz sin llevar a cabo estudios experimentales. [MEDE04]

En el artículo *Capacity, Coverage, and Deployment Considerations for IEEE 802.11g*, se describen las principales características del estándar 802.11g, así como los valores teóricos de las áreas de cobertura en cuanto a distancias y velocidades se refiere, también se hace una comparación con los valores de los estándares 802.11a y 802.11b. Cabe hacer mención que este artículo es de suma importancia en el diseño del experimento de la presente tesis ya que se requieren de estas velocidades de transferencia de datos. [CAPA05]

En el artículo *VoIP en Redes Corporativas*, se presentan varios escenarios de implementaciones de VoIP en este tipo de redes, sin embargo, esta investigación no se enfoca en ese tipo de redes. [FERR04]

Por último en *Quality of Service Analysis of IPSec VPNs for Voice and Video Traffic*, se presentan aspectos de calidad de servicio (QoS) los cuales son necesarios para la transmisión de VoIP, pero no detalla como poder hacer un diseño en los estándares del 802.11. [PERE06]

A parte de los trabajos mencionados, no se encontraron otros que se relacionen de forma directa con la presente investigación.

Existe mucha bibliografía acerca de cómo hacer el diseño de una red que soporte VoIP para medios cableados, a pesar de esto, no se encontró material alguno en que se detalle el proceso que se seguiría en una red inalámbrica, así como tampoco algo que sea de completa utilidad en las empresas líderes del mercado, por lo tanto considero que el diseño de una WLAN para soporte de VoIP será de gran utilidad para la comunidad que pueda estar interesada en el tema, ya que permitirá poder determinar sus principales características en su proceso de operación.

Capítulo 3

Procedimiento para Diseñar una WLAN que Soporte VoIP y Datos con los Estándares 802.11b y 802.11g

En este capítulo se presenta una descripción del procedimiento necesario que se debe de tener en cuenta al momento de diseñar una red inalámbrica con los estándares 802.11b y 802.11g para VoIP y datos.

3.1 Introducción.

Hasta hoy en día ha habido una división clara entre dos tipos de redes: las redes de voz y las redes de datos.

- *Redes de voz*, basadas en conmutación de circuitos, por lo que necesariamente se ocupa un circuito y además, el enrutamiento durante la comunicación se realiza siempre por el mismo camino, como sucede con la red telefónica convencional.
- *Redes de datos*, basadas en conmutación de paquetes, la información se discretiza en paquetes y cada paquete puede viajar por caminos diferentes, esto sucede por ejemplo con Internet en donde para poder mandar la información por la red es necesario adoptar protocolos que permitan transmitir y recuperar la información.

El problema con la tecnología de conmutación de circuitos es que requiere una significativa cantidad de ancho de banda para cada llamada y el circuito no es empleado eficientemente ya que utiliza un canal durante toda la duración de la llamada y muchas conversaciones telefónicas están formadas de silencio, por lo que existe mucho desperdicio.

Las redes de datos, por el contrario, sólo transmiten información cuando es necesario, aprovechando al máximo el ancho de banda y además el retardo, la alteración del orden de llegada o la pérdida de paquetes no son un inconveniente, ya que en el sistema final se tiene una serie de procedimientos de recuperación de la información original; sin embargo, estos factores son altamente influyentes cuando se emplea este tipo de redes para hacer transmisiones de voz y vídeo, por lo que se requieren redes y protocolos que ofrezcan un alto grado de QoS.

A raíz de lo anterior, surge el concepto de Voz sobre IP, el cual define los sistemas de enrutamiento y los protocolos necesarios para la transmisión de conversaciones de voz a través de Internet la cual es una red de conmutación de paquetes basada en el protocolo

TCP/IP para el envío de información; es por esto que además de manejar los protocolos adecuados para establecer la comunicación, cuando el medio de transmisión es inalámbrico se vuelve necesario también tener un buen diseño de la distribución de los puntos de acceso que conforman la red, con el objetivo de tener una buena calidad de voz en las transmisiones.

3.2 Procedimiento para Diseñar una WLAN que Soporte VoIP y Datos.

Aún cuando en el estado del arte se presenta el estándar 802.11n como el candidato ideal para soportar VoIP dado las velocidades y distancias que maneja, se decidió no hacer el diseño en este estándar por no estar acabado completamente hasta el momento de desarrollar el procedimiento y sólo disponer de un pre-N; por otra parte los fabricantes no garantizan la compatibilidad con el estándar final e incluso ni entre sus mismos productos y por último el costo de adquirir equipos con esta tecnología el cual es todavía elevado, a diferencia de los actualmente populares. Por estas razones se optó por los estándares 802.11b y 802.11g.

En el capítulo 2 se presentaron las características más importantes de cada uno de los estándares actualmente utilizados para redes inalámbricas o WLANs; de igual modo, se trataron de forma especial los estándares 802.11b y 802.11g, los cuales son primordiales para el experimento que se realizó en la presente tesis.

El procedimiento que se plantea incluye todas las características y funcionalidades que existen hoy en día en cuanto a equipo para redes inalámbricas o WLANs se refiere, sin embargo, cabe destacar que su implementación demanda ese equipo sofisticado, para apegarse al 100% a lo que se detalla.

A continuación se hace mención de los elementos considerados para la elaboración del procedimiento, tanto para el estándar *802.11b* como para el *802.11g*, teniendo en cuenta que todos los puntos de acceso se encuentran conectados dentro de la misma red IP. Además, se describen aquellos aspectos que aún cuando la teoría indica una cosa, las pruebas de campo que se detallan en el capítulo 4 demostraron que los valores arrojados no van del todo de acuerdo con ella, en ambos estándares.

Para tener una referencia más rápida de lo que el procedimiento describe, podemos ver la figura 3.2.1.

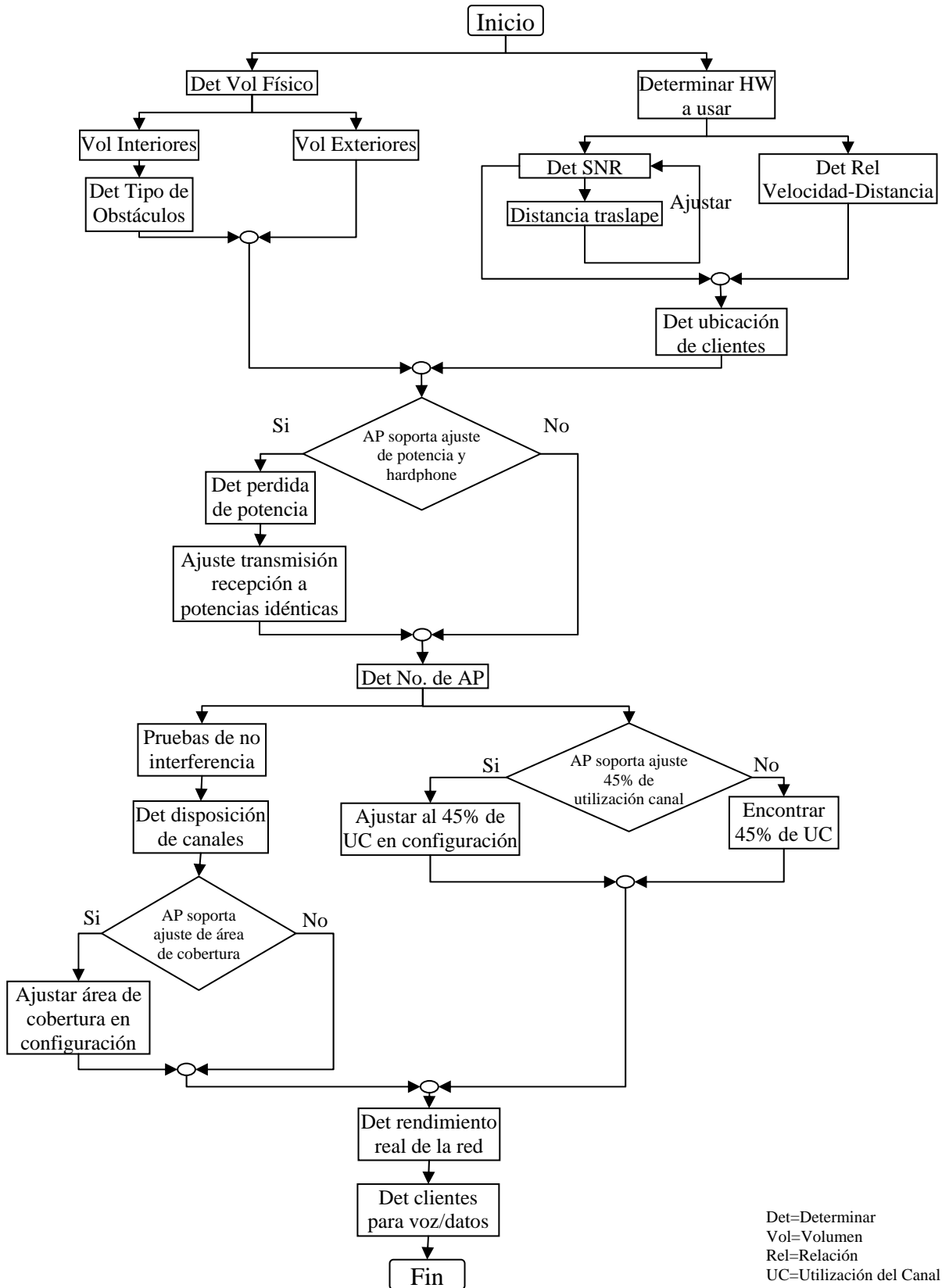


Figura 3.2.1. Procedimiento de diseño para los estándares 802.11b y 802.11g.

3.2.1 Determinar el Volumen Físico de Cobertura.

Como primer punto se debe de determinar el volumen físico en donde se establecerá la red inalámbrica.

Para este punto se necesita tener un plano del lugar en donde se desea instalar la red el cual deberá contar con las medidas de los espacios construidos, así como también de las áreas sin construcción. Dado lo anterior se procederá a calcular el volumen total del que se dispone, para lo cual lo podemos separar en dos partes las cuales están representadas en la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen_Total} = \text{Vol_Exteriores} + \text{Vol_Interiores}$$

En donde:

<i>Volumen_Total</i>	Es todo el volumen del que se dispone.
<i>Vol_Exteriores</i>	Es el volumen total de las áreas sin construcción.
<i>Vol_Interiores</i>	Es el volumen total de las áreas con construcción.

3.2.2 Verificar la Razón Señal – Ruido (SNR) de los Puntos de Acceso.

Cuando se transmiten datos en una red inalámbrica, si la razón señal – ruido o SNR es de 10 decibeles en adelante podemos decir que tenemos una señal adecuada, de 10 a 15 decibeles es suficiente, de 15 a 20 es buena señal y de 20 en adelante es excelente (sin embargo, en ninguno de estos rangos se logra una transmisión satisfactoria para voz) [MUÑO5]. Para voz se recomiendan 25 decibeles en adelante [WIRE04] y no recibir una señal de otro punto de acceso que trabaje en el mismo canal y que sea mayor a 10 decibeles.

Por esta razón se vuelve importante determinar el SNR que arroja el hardware que vayamos a utilizar y con la ayuda de algún software específico hacer las mediciones correspondientes respecto a que distancia se logran los valores deseados. Para llevar a cabo este experimento usaríamos dos puntos de acceso colocados en el mismo canal y con la ayuda de una laptop y software específico determinar donde obtenemos un SNR de 25dB o superior pero que al mismo tiempo no recibamos señal del otro superior a 10dB, obtenidos estos valores se medirían las distancias entre ambos puntos de acceso. Este procedimiento es deseable hacerlo tanto para interiores como para exteriores.

La literatura recomienda para que exista una completa cobertura en el volumen determinado, se de un traslape del 30%, sin embargo, es conveniente verificarlo como aquí ha sido mencionado. Este traslape lo podemos ver más adelante en la figura 4.1.4.1.1 para el estándar 802.11b y en la figura 4.1.4.1.2 para el estándar 82.11g.

Una vez determinadas las distancias que cumplen con el SNR deseado, se procedería a obtener las distancias en las que se obtiene la relación velocidad – distancia para posteriormente determinar el número de puntos de acceso que cubrirían el volumen que nos interesa, el cual fue determinado en la sección 3.2.1.

En la experimentación del SNR se hicieron mediciones con 3 marcas de puntos de acceso usando las mismas distancias con las 3 y se encontró que se arrojan distintos valores de acuerdo con el fabricante con el que se esté trabajando, por lo que efectivamente es recomendable hacer primero una prueba de campo con el hardware antes de instalar la red final y con base en los resultados determinar hasta que distancias podrían estar colocados los clientes para lograr llamadas de voz de calidad, al mismo tiempo decidir las distancias a las que podrían estar colocados los puntos de acceso ajustando el modelo. El detalle de esta prueba se encuentra en el capítulo 4, sección 4.1.4.2.

Es importante mencionar que las llamadas logradas con excelente calidad se obtuvieron con SNR superiores a 25dB, por este motivo es importante determinar a que distancia se obtiene.

También se determinó que se obtienen mejores SNR en aquellos adaptadores que vienen integrados a las laptops en oposición a los extraíbles, por consiguiente se debe determinar de qué tipo serán los utilizados en la red.

3.2.3 Determinación y Verificación de la Relación Velocidad - Distancia.

Ya que este procedimiento será para el diseño de una red con soporte para voz y datos, tal y como se menciona en [WIRE04] para que se pueda dar el soporte de voz:

- Para el estándar 802.11b, de acuerdo a la teoría se sugiere tener al menos velocidades de 11 Mb/s, esto significa que cuando mucho tenemos una distancia de cobertura de hasta 48 m de radio, los cuales se miden desde el centro del punto de acceso. Ver tabla 3.2.4.1.

Tabla 3.2.4.1. Velocidades teóricas crudas del estándar 802.11b.

Velocidad en Mb/s	Distancia en m	Modulación
11	0 – 48	DSSS

- Para el estándar 802.11g, de acuerdo a la teoría se sugiere tener al menos velocidades de 18 Mb/s, esto significa que cuando mucho tenemos una distancia de cobertura de hasta 54 m de radio, medidos desde el centro del punto de acceso. Ver tabla 3.2.4.2.

Tabla 3.2.4.2. Velocidades teóricas crudas del estándar 802.11g.

Velocidad en Mb/s	Distancia en m	Modulación
54	0 – 27	OFDM
48	27 – 29	OFDM
36	29 – 30	OFDM
24	30 – 42	OFDM
18	42 – 54	OFDM

Por lo tanto es importante que los clientes que van a transmitir se encuentren dentro de estas distancias, por lo que se deberá comprobar con ayuda de algún software específico y el hardware que se vaya a utilizar, si estando en las distancias citadas anteriormente, se obtienen las velocidades marcadas.

Este procedimiento se puede llevar a cabo teniendo conectado el punto de acceso a evaluar y una laptop para realizar la medición por medio de un software, la cual para el estándar 802.11b se mueva a distancias desde 0 hasta 48m y para el estándar 802.11g se mueva a distancias desde 0 hasta los 18m. De igual modo, estas distancias se pueden utilizar para determinar inicialmente el número de puntos de acceso.

Lo anteriormente descrito es lo que los estándares indican, sin embargo, después de la implementación, para el estándar 802.11b, las velocidades indicadas por el *software* Network Stumbler y Windows utilizando los puntos de acceso de marca Cisco y 3Com efectivamente fue de 11 Mb/s hasta los 48m, pero ya en el escenario que se implementó para las transmisiones de voz, para el punto de acceso Cisco si se lograron los 11 Mb/s hasta los 48m, pero para el 3Com los 11 Mb/s solo se lograron hasta los 20m. Por su parte el punto de acceso Proxim logró los 11 Mb/s hasta los 30m y no fue evaluado en la transmisión de voz.

Para el estándar 802.11g, utilizando el mismo *software* que con el estándar 802.11b, con el punto de acceso Cisco se logran los 18 Mb/s hasta los 30m, para el 3Com se logran 24 Mb/s a 20m y de ahí decae a 12 Mb/s a una distancia de 27m; por último para el Proxim los 18 Mb/s se logran hasta los 20m. En el escenario de la transmisión de voz para el punto de acceso Cisco se lograron los 18 Mb/s hasta los 27m y para el 3Com hasta los 20m; el Proxim no fue evaluado con transmisión de voz.

Con base en lo anterior podemos ver que las velocidades publicadas oficialmente por los estándares no se alcanzan en todos los casos en las distancias en las que se debería, sino que se obtienen a distancias menores. Ya que la teoría sugiere lograr velocidades de 11 Mb/s para el estándar 802.11b y de al menos 18 Mb/s para el 802.11g, es conveniente determinar a que distancia real las podemos obtener con el hardware que se vaya a utilizar, el cual como ya vimos es un factor importante. Con los resultados se podrían realizar los ajustes necesarios y colocar a los clientes en las distancias apropiadas y decidir también sobre el número de puntos de acceso a utilizar de acuerdo con el volumen determinado. El detalle de esta prueba se encuentra en el capítulo 4, sección 4.1.4.4.

3.2.3.1 Determinar la Ubicación de los Clientes.

Con los resultados obtenidos en la sección 3.2.2 y 3.2.3, en las cuales se determinó los lugares en los que se obtienen los SNR adecuados y una vez obtenida la relación velocidad – distancia deseada, se tendrán las distancias apropiadas en las que se pueden colocar a los clientes para realizar las transmisiones de voz.

3.2.4 Determinar el Número de Puntos de Acceso.

Determinar el número de puntos de acceso a utilizar de acuerdo con el volumen de cobertura, encontrado en la sección 3.2.1 y también tomando en consideración la distancia a la que debe estar colocado uno del otro como fue descrito en la sección 3.2.2 y los lugares en los que se obtiene la relación velocidad - distancia de la sección 3.2.3.

En principio, el procedimiento consistirá en dividir el volumen físico a cubrir entre los resultados obtenidos en la sección 3.2.2.2, sin embargo, es necesario constatarlo con una prueba de campo. Al conectarlos, se deberán ubicar dentro de la misma red IP.

3.2.5 Considerar la Atenuación de la Señal por Obstáculos.

El caso que aquí se plantea es el ideal, en donde no se tiene ningún tipo de obstáculos como muros, aspectos del medio ambiente entre otros, en un ambiente real se tienen que considerar los obstáculos, pero el principio para la determinación de la cantidad de los puntos de acceso sería el mismo. Las tecnologías que pueden producir interferencias son: Bluetooth, hornos de microondas, algunos teléfonos inalámbricos y otras redes WLAN, entre otros. [ADVE06] Ver tabla 3.2.5.1 y 3.2.5.2. Dentro de este trabajo se llevó a cabo una implantación en exteriores, sin embargo, podríamos considerar estos valores para hacer los cálculos cuando se trate de interiores, o bien proceder como se ha descrito.

Tabla 3.2.5.1. Pérdida en dB a través de diferentes tipos de materiales.

Tipo de Obstáculo	Pérdida
Espacio abierto	0 dB
Ventana (tintado no metálico)	3 dB
Ventana (tintado metálico)	5 - 8 dB
Muros finos	5 - 8 dB
Muros medio de madera	10 dB
Muros gruesos	15 – 20 dB
Muros muy gruesos	20 – 25 dB
Suelo/techo grueso	15 – 20 dB
Suelo/techo muy grueso	20 – 25 dB

Tabla 3.2.5.2. Obstáculos y atenuación de la señal.

Tipo de Obstáculo	Atenuación Introducida
Madera	Baja
Plástico	Baja
Materiales Sintéticos	Baja
Cristal	Baja
Ladrillos	Media
Hojas	Media
Agua	Alta
Cerámica	Alta
Papel	Alta
Cemento	Alta
Cristal a Prueba de Balas	Alta
Metales	Muy Alta

3.2.6 Determinar las Posibles Pérdidas de Potencia.

Dado el punto anterior es importante tener en cuenta que según estudios de Cisco la regla para incrementos y decrementos de la potencia dice:

- En exteriores (sin obstáculos) cada incremento de 6 dB duplicará la distancia de alcance y cada decrementos de 6 dB el rango de cobertura es la mitad.
- En interiores (con obstáculos) cada incremento de 9 dB dobla la distancia de alcance aproximadamente y cada decremento de 9 dB el rango de cobertura es la mitad aproximadamente.

$$dB = 10 \log_{10} \left(\frac{Potencia_de_A}{Potencia_de_B} \right)$$

Medida de la ganancia o pérdida.

Este factor se recomienda tomar en cuenta cuando trabajemos con puntos de acceso que tienen capacidades para controlar la potencia y con *hardphones* en vez de *softphones*, ya que los primeros a semejanza de los puntos de acceso traen capacidades para controlarla. El ajuste de la potencia se llevaría a cabo entrando a sus opciones de configuración que traen para tal efecto.

3.2.7 Determinar la Disposición de los Canales.

El siguiente punto consiste en la determinación de los canales a utilizar, sabiendo que únicamente se cuenta con tres canales no adyacentes, el 1, 6 y 11 que son los que se pueden utilizar sin que existan dos células contiguas que utilicen el mismo canal lo cual produciría interferencias. La figura 3.2.7.1 presenta una posible distribución de canales.

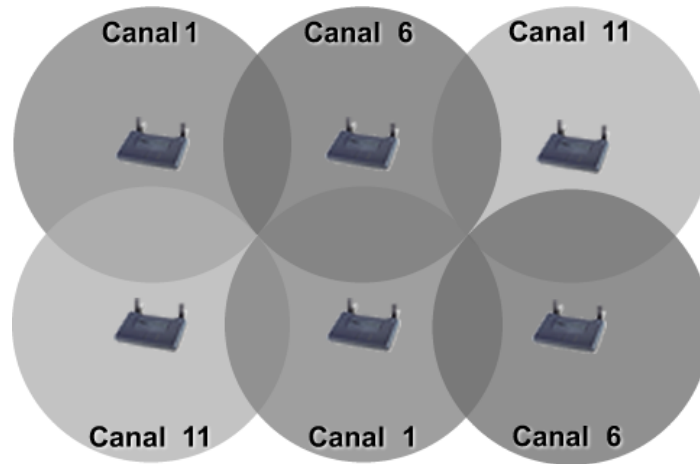


Figura 3.2.7.1. Distribución de canales de frecuencia.

3.2.8 Transmisión y Recepción a Potencias Idénticas.

El emisor y el que recibe deben de transmitir a la misma potencia; este punto aplica principalmente cuando se están utilizando *hardphones*. Si fuera el caso habría que ajustarla a que sea la misma en el *hardphone* y en el punto de acceso utilizado, usando la configuración que traen para tal efecto.

La potencia que se menciona, varía en función del área geográfica en la que se encuentre, en la tabla 3.2.8.1 aparecen reflejados estos valores:

Tabla 3.2.8.1. Potencia de transmisión.

Potencia de transmisión máxima	Localización geográfica	Documento probatorio
1000 mW	América	FCC 15.247
100 mW (EIRP)	Europa	ETS 300-328
10 mW/MHz	Japón	MPT ordinance 79

3.2.9 Garantizar como Máximo un 45% de Utilización del Canal de un Punto de Acceso.

El índice de la utilización del canal de un punto de acceso debe ser menor que el 45%, para garantizar una buena calidad de voz.

Para garantizar este 45% se pueden aplicar técnicas de QoS en los puntos de acceso para obtener ciertos anchos de banda específicos o bien la creación de VLANs (LAN Virtual) en los mismos; sin embargo, estas funcionalidades no son soportadas por todas las marcas de AP, pero se recomienda en aquellas que si las tengan.

En el caso de que no se disponga de puntos de acceso que soporten las funcionalidades de QoS, se deberá encontrar ese 45% de utilización del canal midiendo el rendimiento real de la red (el cual se puede obtener midiendo la velocidad de transferencia de archivos) sin tráfico y con tráfico (inyectándolo con algún software específico) y una vez obtenidos estos valores encontrar un equilibrio que nos arroje ese 45% buscado. Este procedimiento es recomendable hacerlo para cada una de las distintas marcas de puntos de acceso a utilizar.

Con los resultados obtenidos en el experimento, nos damos cuenta de que si consideramos ese 45% directamente de lo que la teoría propone, los valores que se arrojarán tendrán considerables diferencias con lo que generaría una prueba de campo, por esta razón es importante para ambos estándares llevar a cabo pruebas experimentales para poder determinar hasta cuanto tráfico de datos y voz podríamos tener en la red, considerando el caso de que no se cuente con puntos de acceso que soporten funcionalidades de QoS. (Para mayor detalle de los resultados de esta prueba, referirse al capítulo 4, sección 4.1.4.9)

3.2.10 Obtener el Rendimiento Real de la Red.

Es recomendable realizar pruebas para verificar el rendimiento real de la red utilizando software específico para tal caso. Para poder hacerlo, se debe determinar el ancho de banda que realmente se estuviera empleando, para no confiarnos del todo en lo que indiquen los estándares.

Este punto se puede llevar a cabo mediante la transferencia de archivos con la ayuda de un servidor, tanto sin tráfico como inyectándole tráfico a la red (con la ayuda de un software) pero a la vez cumpliendo con el 45% de utilización del canal encontrado en la sección 3.2.9; y al mismo tiempo se deben de hacer las transferencias en las diversas distancias requeridas.

Después de la implementación del procedimiento nos dimos cuenta que las velocidades teóricas que publican los fabricantes respecto de los estándares, no son las que

realmente se obtuvieron en el escenario experimental y no solamente hay que destacar lo que menciona la teoría contra lo que realmente se obtuvo, sino también las diferencias que existen entre los diferentes fabricantes de puntos de acceso. Por lo que se vuelve importante llevar a cabo la prueba de campo con el hardware que se cuente para determinar las velocidades que se obtienen en cada uno de los estándares en cuestión, ya que de estos resultados dependerá la cantidad de llamadas que se pueden soportar. El detalle de este punto se encuentra posteriormente en el capítulo 4 en las tablas 4.1.4.10.1 a 4.1.4.10.5.

3.2.11 Determinar el Número de Clientes para Voz y Datos.

Determinar el número de clientes para voz y para datos que estarán conectados a la WLAN en un momento determinado, para lo cual podemos utilizar la fórmula siguiente (cabe hacer mención que esta fórmula es solamente un acercamiento inicial, dado que la realidad puede ser distinta de la teoría):

$$\text{Número_de_Llamadas} = \frac{\text{Factor_Corrección} \times (\text{AB_Real} - \text{AB_Real_Datos_Utilizado})}{\text{Consumo_Codec}}$$

En donde:

<i>Número_de_Llamadas</i> =	Número total de llamadas
<i>Factor_Corrección</i> =	Factor de corrección de desempeño real de la red
<i>AB_Real</i> =	Es el ancho de banda realmente utilizado
<i>AB_Real_Datos_Utilizado</i> =	Ancho de banda realmente usado en datos
<i>Consumo_Codec</i> =	Consumo del ancho de banda del codec utilizado por llamada

Por otra parte para determinar el factor de corrección tenemos que tener en cuenta varios elementos como son el *hardware* del que se dispone, el codec que se quiera emplear, así como también el ancho de banda real con el que se cuenta.

Estudios previos han demostrado que utilizando la WLAN únicamente para VoIP, es decir, sin la transmisión de datos, la red puede soportar de forma concurrente hasta 7 llamadas utilizando el codec g711, hasta 8 llamadas utilizando el codec g729 [WIRE04] y hasta 12 llamadas con el codec gsm [WCLI05], cabe hacer mención que estos resultados fueron obtenidos de un experimento llevado a cabo con el uso de *hardphones* y un PBX de Cisco.

Dado lo anterior y con referencia a la fórmula planteada, si el *AB_Real_Datos_Utilizado* se aproxima a cero, entonces el número de llamadas de forma concurrente se aproxima a 7, 8 ó 12 llamadas dependiendo del codec. Por otra parte si el

AB_Real_Datos_Utilizado se aproxima al 100%, entonces el número de llamadas de forma concurrente se aproxima a cero, independientemente del codec utilizado.

3.2.12 Realizar Pruebas de no Interferencia de Otras Redes.

Es importante verificar si existen o no WLANs alrededor de donde instalaríamos la nuestra. En el caso de que esto suceda debemos de comprobar que los canales de los puntos de acceso de éstas no interfieran con los nuestros, con el fin de evitar las interferencias.

Este punto se puede llevar a cabo utilizando software específico que permita detectar otras redes alrededor del lugar en el que estaría implantada la WLAN en cuestión, y de igual manera determinar los canales en los que estuvieran operando.

3.2.13 Ajustes del Área de Cobertura para Evitar Interferencias.

Dado que un punto de acceso puede cubrir cierta distancia dependiendo del estándar:

- Para el estándar 802.11b, se puede cubrir hasta una distancia de 82 m y teniendo en cuenta que solamente los primeros 48 m que son los que transmiten a 11 Mb/s son utilizables para la transmisión de voz, existen 34 m más que el punto de acceso cubre pero que realmente no son utilizables, por esta razón se debe ajustar el área celular a utilizar en el punto de acceso para evitar interferencias.
- Para el estándar 802.11g, se puede cubrir hasta una distancia de 91 m y teniendo en cuenta que solamente los primeros 54 m que son los que transmiten a 18 Mb/s o superior son utilizables para la transmisión de voz, existen 37 m más que el punto de acceso cubre pero que realmente no son utilizables, por esta razón se debe ajustar el área celular a utilizar en el punto de acceso para evitar interferencias.
- Cabe hacer mención que no todos los puntos de acceso cuentan con la funcionalidad del ajuste del área celular.

3.3 Gráfica Inicial de Diseño del Estándar 802.11b.

La gráfica que representa el diseño principal del procedimiento considerando únicamente seis puntos de acceso se puede ver en la figura 3.3.1.

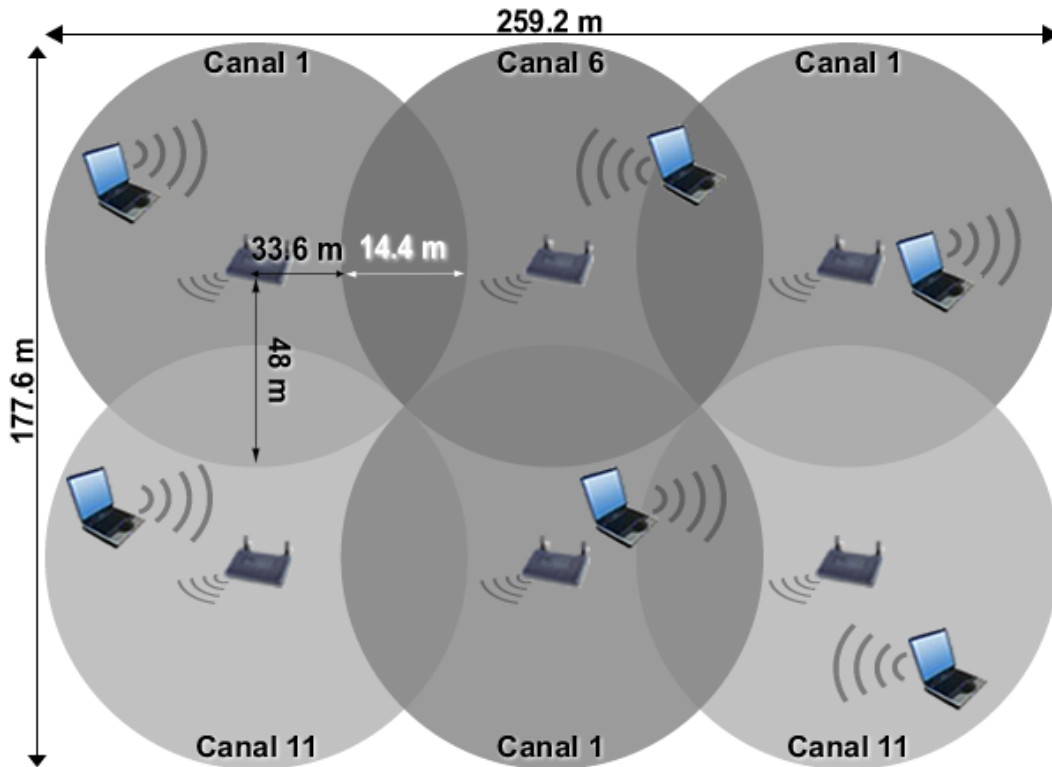


Figura 3.3.1. Modelo para el estándar 802.11b.

La figura 3.3.1 presenta 6 puntos de acceso teniendo la distribución de canales apegado a la teoría para evitar posibles interferencias entre ellos, los canales utilizados son el 1, el 6 y el 11, tal como se puede apreciar.

Dado que como sugiere la teoría el estándar 802.11b soporta VoIP cuando utiliza velocidades de 11 Mb/s, para esta velocidad el área máxima de cobertura es de 48 m, se presenta un traslape del 30%, lo cual nos arroja el valor de 14.4 m, las áreas fuera de ese solapamiento tienen una distancia de 33.6 m, la cual al ser sumada con la distancia traslapada nos arrojan nuevamente los 48 m que alcanza a cubrir el estándar. Estos valores van acorde con los resultados encontrados en las secciones 3.2.2 y 3.2.3.

Con los 6 puntos de acceso que la gráfica presenta se tiene una distancia de cobertura de 259.2 m de largo por 177.6 m de ancho.

3.4 Gráfica Inicial de Diseño del Estándar 802.11g.

La gráfica que representa el diseño principal del procedimiento para el estándar 802.11g se puede ver en la figura 3.4.1.

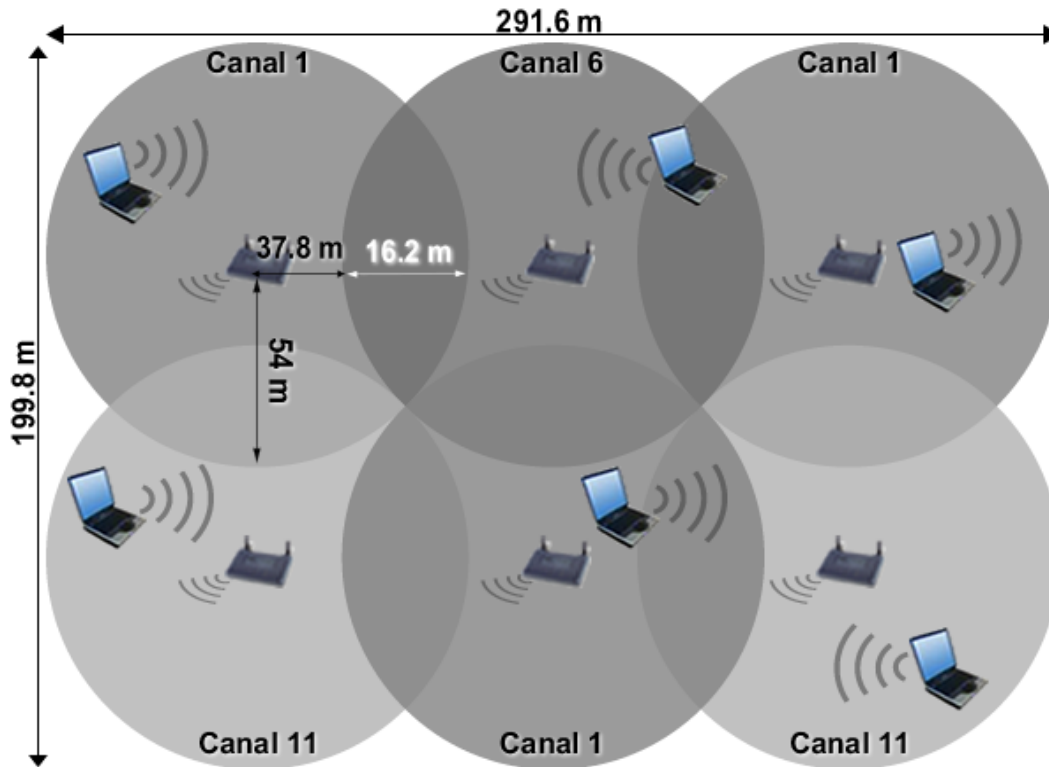


Figura 3.4.1. Modelo para el estándar 802.11g.

La figura 3.4.1 presenta 6 puntos de acceso teniendo la distribución de canales apegado a la teoría para evitar posibles interferencias entre ellos, los canales utilizados son el 1, el 6 y el 11, tal como se puede apreciar.

Dado que como sugiere la teoría el estándar 802.11g soporta VoIP cuando utiliza velocidades de 18 Mb/s o superior, y que para esta velocidad mínima el área máxima de cobertura es de 54 m, se presenta un traslape del 30%, lo cual nos arroja el valor de 16.2 m, las áreas fuera de ese traslape tienen una distancia de 37.8 m, la cual al ser sumada con la distancia solapada nos arrojan nuevamente los 54 m que alcanza a cubrir el estándar con la velocidad mínima. Estos valores van acorde con los resultados encontrados en las secciones 3.2.2 y 3.2.3.

Con los 6 puntos de acceso que la gráfica presenta se tiene una distancia de cobertura de 291.6 m de largo por 199.8 m de ancho.

Capítulo 4

Implementación y Análisis de Resultados de las Pruebas

Este capítulo presenta una descripción del procedimiento que se siguió para poner en marcha las pruebas de campo, las cuales se hicieron apegados al procedimiento propuesto en el capítulo 3. También se incluye una descripción del software (justificando su uso) y el hardware que se utilizó, esto nos proporciona una guía al momento de elegir que equipo usar; de igual modo se describe el lugar en el que se desarrollaron los experimentos.

4.1 Implementación.

Esta sección describe el equipo utilizado para la implementación del experimento en cuanto a hardware y software se refiere, esto puede servir de guía en una implementación, así como la ejecución paso a paso del procedimiento propuesto en el capítulo 3.

4.1.1 Hardware.

El experimento que se desarrolló fue realizado utilizando el hardware que a continuación se detalla:

- Dos puntos de acceso marca Cisco modelo *AIR-AP1231G-A-K9*, del estándar 802.11g, los cuales son compatibles con el estándar 802.11b que son los dos estándares en los que se propone el procedimiento a seguir.
- Dos puntos de acceso marca 3Com, del estándar 802.11g, modelo *OfficeConnect Wireless 11g Cable/DSL Router*.
- Un punto de acceso marca Proxim, del estándar 802.11b y 802.11g, modelo Orinoco AP-2000.
- Un switch 3Com® *OfficeConnect*® de 5 puertos.
- 11 laptops
- Adaptadores del estándar 802.11b y 802.11g, para poder hacer las pruebas en ambos estándares.

El equipo que se utilizó en cuanto a puntos de acceso y laptops se refiere, utilizaron las direcciones IPs y nombres que se describen en la tabla 4.1.1.1

Tabla 4.1.1.1 Datos de la Red.

Equipo	Nombre	Dirección IP	SSID
Punto de Acceso Cisco-1	Pasillo-Canchas	192.168.1.1	Xochitepec
Punto de Acceso 3Com-2	Canchas-Football	192.168.1.2	Xochitepec
Punto de Acceso Cisco-3	Pasillo-Edificio	192.168.1.3	Xochitepec
Punto de Acceso 3Com-4	Canchas-Tenis	192.168.1.4	Xochitepec
Laptop 1	Servidor Asterisk	192.168.1.5	-
Laptop 1	Servidor de Archivos	192.168.1.6	-
Laptop 2	WV-Lap2	192.168.1.7	-
Laptop 3	WV-Lap3	192.168.1.8	-
Laptop 4	WV-Lap4	192.168.1.9	-
Laptop 5	WV-Lap5	192.168.1.10	-
Laptop 6	WV-Lap6	192.168.1.11	-
Laptop 7	WV-Lap7	192.168.1.12	-
Laptop 8	WV-Lap8	192.168.1.13	-
Laptop 9	WV-Lap9	192.168.1.14	-
Laptop 10	WV-Lap10	192.168.1.15	-
Laptop 11	WV-Lap11	192.168.1.16	-

En la figura 4.1.1.1 se puede apreciar la distribución de los canales de los puntos de acceso que fueron utilizados en la prueba. Estos puntos de acceso fueron colocados a las distancias sugeridas por el procedimiento, es decir, considerando el solapamiento encontrado, lo cual indica que los radios se sobreponen 14.4m para el estándar 802.11b y 16.2m para el estándar 802.11g, tal y como se determinó en el capítulo 3.

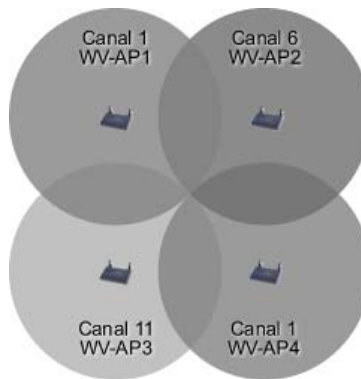


Figura 4.1.1.1. Distribución de canales en los AP.

El hardware fue instalado para llevar a cabo los experimentos en el terreno que se encuentra en Xochitepec del ITESM Campus Cuernavaca. En la figura 4.1.1.2 se puede apreciar el plano del lugar con la ubicación física en donde fueron colocados cada uno de los puntos de acceso y el switch. Las distancias a las que fueron colocados los equipos se presenta posteriormente en las figuras 4.1.4.1.1 y 4.1.4.1.2.

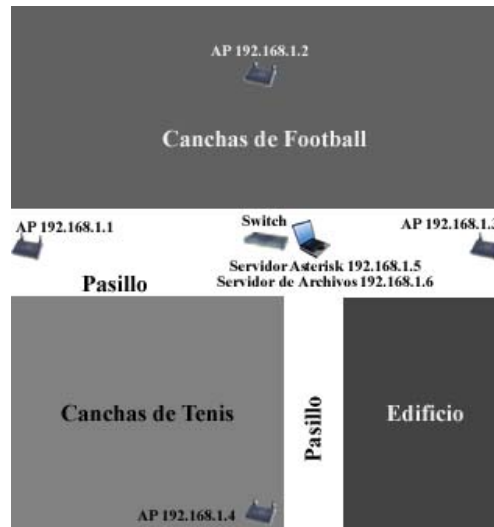


Figura 4.1.1.2. Plano principal del Campus con la ubicación física de los AP, Switch y Servidores.

4.1.2 Software.

El software utilizado incluyendo lo necesario para la implementación de VoIP fue el siguiente:

- Servidor de voz (PBX) Asterisk corriendo sobre la máquina virtual VMware con Linux Debian 3.1.
- Softphone eyeBeam de Xten.
- Softphone X-Lite de Xten.
- Servidor Apache para la descarga de archivos.
- Medidor de ancho de banda Net Meter.
- Network Stumbler para tener la razón señal a ruido SNR y velocidades de transmisión.
- UDPFlood para inundar la red de tráfico.

- El navegador Explorer, para realizar los cambios en la configuración pertinentes en los puntos de acceso.

4.1.3 Elementos de VoIP Necesarios para la Implementación del Procedimiento.

El software que se utilizó como soporte para el estándar VoIP, se presenta a continuación, incluyendo la justificación de su uso.

4.1.3.1 Terminales o Clientes.

Como se mencionó en el estado del arte, los clientes de VoIP pueden ser de dos tipos: *hardphones* o *softphones*. Los clientes que se utilizaron en esta investigación fueron los *softphones*; se prefirieron éstos a los *hardphones* por las siguientes razones:

- Se consiguió el software con relativa facilidad descargándolo de Internet dado que en la red existe gran variedad del mismo de uso libre y por otra parte se disponía del *eyeBeam* de *Xten*.
- Dado que se obtuvo el software de varios *softphones*, pudieron ser evaluados cada uno de ellos y elegir uno en particular, el cual se ajustó básicamente a las características de facilidad de uso y una buena presentación gráfica.
- No se contaba con ningún *hardphone* para hacer las pruebas.
- El costo de los *hardphones* en el mercado es bastante elevado, razón por la cual fue imposible adquirirlos.

La segunda decisión respecto a las terminales o clientes, fue decidir que *softphone* utilizar de los que se disponían, los cuales todos fueron para la plataforma Windows. Se evaluaron el *X-Lite* y *eyeBeam* (de *Xten*), *FireFly*, *FireFly Thirdparty* (de *Freshtel*), *Express Talk* (de NCH *Swift Sound*), y se decidió utilizar el *eyeBeam* y el *X-Lite* por las siguientes razones (cabe hacer mención que el *X-Lite* es la versión gratuita del *eyeBeam*):

- Resultó compatible con el servidor de voz *Asterisk*, que fue el PBX que se decidió utilizar como se describe en la siguiente sección, dado que ambos utilizan el protocolo SIP para hacer la comunicación.
- Una vez hecha su instalación funcionó de forma inmediata.
- La interfaz gráfica que maneja es bastante amigable y de uso intuitivo.

- No requieren de muchas modificaciones para hacerlo funcionar, dado que sólo fue necesario modificar algunos de los aspectos de sus parámetros de configuración, como el hecho de añadir una cuenta y los datos del dominio.
- Cuenta con los codecs (G.711, GSM, iLBC, Speex, G.729) que más se están utilizando actualmente para VoIP.
- Se optó por clientes Windows dado que la mayor parte de las laptops que se utilizaron para el experimento sólo contaban con este sistema operativo, por lo que resultó más práctico tener clientes Windows.
- Se decidió utilizar 2 *softphones*, dado que no se podían tener 2 instancias de uno solo corriendo en la misma laptop y para tener un mayor número de llamadas se optó por dos.

En la figura 4.1.3.1.1 se puede apreciar la pantalla principal del *softphone eyeBeam* y del *X-Lite* de la empresa *Xten*:



Figura 4.1.3.1.1. Pantalla principal del eyeBeam y X-Lite de Xten.

4.1.3.2 Servidores de Voz.

En segundo lugar se eligió un servidor de voz o PBX, el cual es otro de los elementos principales del estándar de VoIP.

El servidor de voz o PBX elegido fue *Asterisk* para Linux, las razones que llevaron a su elección son las siguientes:

- Es GPL *General Public License* o Licencia Pública General, por lo que se pudo adquirir fácilmente.
- Fácil y rápida implementación, para los aspectos necesarios para llevar a cabo el experimento propuesto.
- Soporta los protocolos más importantes de VoIP al momento como son SIP, H.323 y IAX.
- Se prefirió la versión para Linux y no la de Windows dado que la de Windows fue probada y presentó muchos problemas para hacerla funcionar, de hecho no se consiguió de forma eficiente. Como ejemplo podemos citar que en las pruebas realizadas, en ningún momento se pudieron hacer más de 3 llamadas de forma efectiva concurrentemente, incluso las que se lograron no fueron de buena calidad. Por otra parte, se bloqueaba con relativa facilidad y generaba resultados que no eran reales.

Elegido el servidor de voz *Asterisk*, lo más importante en la configuración del mismo para poder llevar a cabo los experimentos, fue el hecho de poder añadir nuevos usuarios y nuevas extensiones, para disponer de un grupo específico para establecer la comunicación, para hacer esto se modificaron los archivos sip.conf y extensions.conf, los cuales se encuentran en la dirección /etc/asterisk por defecto. [AREF06]

La figura 4.1.3.2.1 corresponde a una parte de la información que despliega Asterisk, al final de la ejecución de su proceso de carga, la cual indica que ya se encuentra en funcionamiento con el término *Asterisk Ready* y en este punto ya puede admitir usuarios y establecer comunicaciones.

```
[format_g723.sol => (G.723.1 Simple Timestamp File Format)
== Registered file format g723sf, extension(s) g723!g723sf
[cdr_csv.sol => (Comma Separated Values CDR Backend)
[cdr_manager.sol => (Asterisk Call Manager CDR Backend)
== Parsing '/etc/asterisk/cdr_manager.conf': Found
[cdr_custom.sol => (Customizable Comma Separated Values CDR Backend)
== Parsing '/etc/asterisk/cdr_custom.conf': Found
[cdr_odbc.sol => (ODBC CDR Backend)
== Parsing '/etc/asterisk/cdr_odbc.conf': Found
[cdr_pgsq1.sol => (PostgreSQL CDR Backend)
== Parsing '/etc/asterisk/cdr_pgsq1.conf': Found
[cdr_sqlite.sol => (SQLite CDR Backend)
[func_callerid.sol => (Caller ID related dialplan function)
== Registered custom function CALLERID
[func_enum.sol => (ENUM Related Functions)
== Registered custom function ENUMLOOKUP
== Registered custom function TXTCIDNAME
[func_uri.sol => (URI encode/decode functions)
== Registered custom function URIDECODE
== Registered custom function URIENCODE
== Manager registered action DBGet
== Manager registered action DBPut
== Parsing '/etc/asterisk/enum.conf': Found
Asterisk Ready.
xULL17 -
```

Figura 4.1.3.2.1. Pantalla de Asterisk ejecutándose.

4.1.3.3 Protocolos.

Para que la comunicación de VoIP se pueda dar, es necesario valerse de un protocolo; como se planteó con anterioridad. Existen dos protocolos que lideran este punto el SIP y el H.323, sin embargo, en nuestros días la tendencia en la industria parece inclinarse hacia el protocolo SIP el cual también fue elegido, debido principalmente a las siguientes razones:

- Los equipos disponibles actualmente en el mercado son mucho más baratos que los que utilizan el protocolo H.323, además de tener tiempos de respuesta mucho menores.
- Mientras SIP fue diseñado para ser un componente modular de una solución mucho más grande, H.323 es un conjunto integrado de protocolos que cubre todos los detalles de una comunicación IP, por lo que H.323 puede ser más difícil de configurar.
- Los dispositivos que pueden usar el protocolo SIP para telefonía IP pueden ser de los más variados. Por ejemplo, una PC con un softphone, un teléfono IP, un router con VoIP, un *gateway* de telefonía o un PDA. [COMU06]
- La configuración del protocolo SIP en el PBX Asterisk y en el cliente eyeBeam fue relativamente sencilla.

4.1.3.4 Codecs.

El experimento se ajustó a ser probado con los codecs más utilizados para VoIP actualmente en el mercado y que a la vez fueran soportados por los *softphones* elegidos *eyeBeam* y *X-Lite* y que también pudieran ser manipulados por el protocolo SIP, estos fueron el g711u y gsm. De este modo se pudo evaluar el codec g711 que utiliza un gran ancho de banda que en este caso es de 64 Kb/s, pero también pudo ser evaluado el codec gsm que utiliza un ancho de banda pequeño de 13 Kb/s.

4.1.4 Diseño de la Red con Base al Procedimiento Propuesto.

En esta sección, se retomó el procedimiento planteado en el capítulo 3 y se fue siguiendo punto por punto para llevar a cabo su implementación. En este proceso se realizaron una serie de pruebas las cuales se presentan a continuación y sirvieron para verificar y/o validar los conceptos teóricos planteados; cada prueba fue diseñada con un objetivo en particular, adaptándose a los puntos que el mismo procedimiento describe.

Es importante destacar que el equipo utilizado en la implementación cumple con las características de los estándares propuestos, el cual ya fue detallado en la sección 4.1. y fue conectado dentro de la misma red IP.

4.1.4.1 Determinar el Volumen Físico de Cobertura.

El primer punto del procedimiento propuesto consistió en determinar el volumen de cobertura.

En nuestro caso ya que solamente se disponía de cuatro puntos de acceso para llevar a cabo la implementación, y ésta se realizaría en un espacio sin obstáculos en exteriores, se determinó el área a cubrir considerando que se necesitaba un SNR de 25dB o superior sin recibir señal de otro punto de acceso en el mismo canal superior a 10dB, para lo cual se encontró un área de traslape del 30% una vez realizadas las mediciones en los radios que nos interesaban en la sección 4.1.4.2 y 4.1.4.3, esto nos genera un área de 177.6m de ancho por 177.6m de largo para el estándar 802.11b y de 199.8m de ancho por 199.8m de largo para el estándar 802.11g. La disposición de la red con las medidas se puede apreciar en la figura 4.1.4.1.1 para el estándar 802.11b y 4.1.4.1.2 para el estándar 802.11g. La distribución aquí planteada corresponde a lo dispuesto antes en la figura 4.1.1.2.

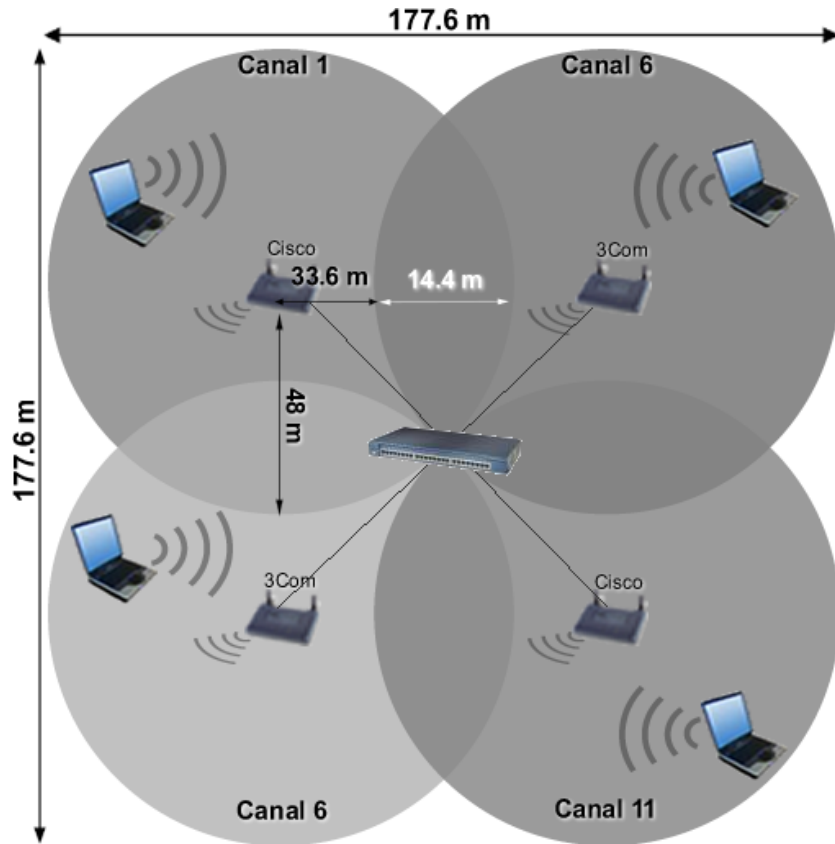


Figura 4.1.4.1.1. Diagrama de la red en el estándar 802.11b.

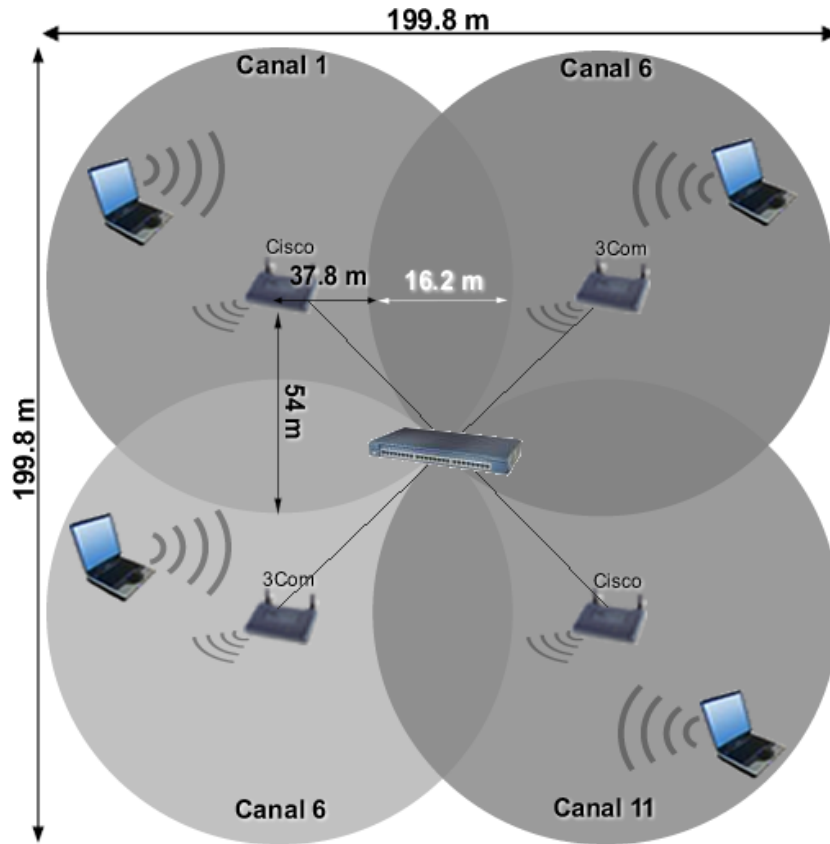


Figura 4.1.4.1.2. Diagrama de la red en el estándar 802.11g.

El espacio utilizado fue un área sin obstáculos en exteriores y se ubicó en el terreno en Xochitepec del ITESM Campus Cuernavaca.

4.1.4.2 Verificar la Razón Señal – Ruido (SNR) de los Puntos de Acceso.

El siguiente factor a considerar fue la razón señal – ruido o SNR, la cual debe de ser de 25dB o mayor y al mismo tiempo no recibir una señal de otro punto de acceso que trabaje en el mismo canal y que a la vez sea mayor a 10dB.

También fue importante determinar con base en los dos valores anteriores las distancias a las que se tendrían que colocar los puntos de acceso, haciendo la medición respectiva una vez que los valores deseados se obtuvieron.

Procedimiento.

Esta prueba consistió en medir la razón de señal a ruido, utilizando el software Network Stumbler y posicionándose en las distancias indicadas como las adecuadas (sección 3.2.3) para la transmisión de voz en cada uno de los dos estándares utilizados.

Para tener un mejor panorama de los resultados, esta prueba se llevó a cabo encontrando el SNR que arrojan tres marcas de puntos de acceso.

Resultados.

La razón de señal a ruido obtenida, se puede apreciar en las tablas 4.1.4.2.1 y 4.1.4.2.2.

Tabla 4.1.4.2.1. SNR alcanzado para las pruebas con el estándar 802.11b.

Distancia de medición	SNR		
	Cisco	3Com	Proxim
A 0m	70 a 65	65 a 60	53 a 50
A 10m	45 a 38	43 a 39	30 a 28
A 15m	45 a 30	43 a 39	30 a 27
A 20m	39 a 35	35 a 33	15 a 10
A 30m	25 a 24	25 a 24	16 a 8
A 40m	25 a 24	23 a 22	12 a 8
A 48m	23 a 22	20 a 17	Menores de 12
Mayor de 48m	Menores de 22	Menores de 17	

Todos los valores de SNR están dados en decibeles.

Tabla 4.1.4.2.2. SNR alcanzado para las pruebas con el estándar 802.11g.

Distancia de medición	SNR		
	Cisco	3Com	Proxim
A 0m	49 a 44	54 a 36	52 a 50
A 10m	36 a 35	36 a 35	35 a 32
A 20m	35 a 30	28 a 24	32 a 24
A 27m	28 a 27	28 a 24	30
A 42m	26 a 17	23 a 22	De 25 para abajo con pérdida de señal
A 54m	25 a 17	22 a 7	
Mayor de 54m	Menores de 17	Menores de 7	

Todos los valores de SNR están dados en decibeles.

Es importante observar que no existe un patrón claro entre los resultados de las diferentes marcas evaluadas dado que se presentan diferencias entre ellos.

Sin embargo, podemos notar que para el estándar 802.11b lo ideal es que el cliente pudiera estar hasta una distancia de 40m con el punto de acceso Cisco, hasta una distancia de 30m con 3Com y hasta 15m con el Proxim, que es donde se obtiene un SNR de 25dB, el

cual es el mínimo aceptable. Para el caso del estándar 802.11g el cliente podría encontrarse hasta los 54m con el punto de acceso Cisco, hasta 27m con el punto de acceso 3Com y hasta 20m con Proxim. Estas distancias fueron evaluadas posteriormente en el apartado de la sección 4.1.4.11 de transmisión de voz.

Durante la determinación del SNR de las tres marcas distintas, se procedió también a determinar a que distancia de un punto de acceso podría estar colocado otro que se encontrara en el mismo canal y al mismo tiempo se cumpliera el hecho de detectar a uno con un SNR de 25dB o superior y no recibir señal del otro con SNR de 10dB o superior. Una vez encontrada esta relación se hicieron las mediciones respectivas de las distancias y se concluye que se debe tener un traslape del 30% (este porcentaje podría variar dependiendo del fabricante de los puntos de acceso a utilizar, ya que en otras marcas podrían tener distinto traslape), por lo que:

- Para el estándar 802.11b, los radios deben presentar un traslape de 14.4 m, esta distancia representa el 30% del radio hasta donde se alcanzan los 11 Mb/s el cual es de 48m (estos valores son propuestos por la teoría).
- Para el estándar 802.11g, los radios deben presentar un traslape de 16.2 m, esta distancia representa el 30% del radio de la velocidad mínima permitida la cual es de 18 Mb/s y abarca 54m (estos valores son propuestos por la teoría).

4.1.4.3 Determinación y Verificación de la Relación Velocidad - Distancia.

El diseño que se realizó fue para dar soporte a voz y datos; por lo tanto, si se planea diseñar una red de este tipo, para el estándar 802.11b, se precisa al menos tener velocidades de 11 Mb/s (velocidad cruda) esto significa que cuando mucho tenemos una distancia de cobertura de hasta 48m de radio. Para el estándar 802.11g, se precisa al menos tener velocidades de 18 Mb/s (velocidad cruda) es decir, cuando mucho tenemos una distancia de cobertura de hasta 54m de radio, de acuerdo a los estándares. Estos datos son proporcionados por la teoría. Dada la descripción anterior, se desarrolló una prueba para comprobar si realmente se cumplía con la relación velocidad – distancia mencionada.

Procedimiento.

Se utilizó el software Network Stumbler cotejando sus resultados con el indicador de Windows para determinar las velocidades que se logran en las distancias que proponen los estándares. Estas mediciones se llevaron a cabo utilizando 3 fabricantes distintos de puntos de acceso.

Para el estándar 802.11b, la distancia que nos interesa va de 0m a 48m, rango en el cual se deben obtener velocidades de 11 Mb/s. Para el estándar 802.11g, las distancias que nos interesan van de 0m a 54m, rango en el que se deben presentar diversas velocidades, es

decir, de 0m a 27m se deben alcanzar velocidades 54 Mb/s, de 27m a 29m velocidades de 48 Mb/s, de 29m a 30m velocidades de 36 Mb/s, de 30m a 42m velocidades de 24 Mb/s y de 42m a 54m velocidades de 18 Mb/s.

Resultados.

Las velocidades alcanzadas, distan de lo que la teoría indica. Las tablas 4.1.4.4.1 y 4.1.4.4.2 muestran los resultados obtenidos.

Tabla 4.1.4.4.1. Resultados de las velocidades para el estándar 802.11b.

Distancia de medición	Velocidad alcanzada Punto de Acceso Cisco	Velocidad alcanzada Punto de Acceso 3Com	Velocidad alcanzada Punto de Acceso Proxim	
A 0m	11 Mb/s	11 Mb/s	11 Mb/s	
A 10m				
A 15m				
A 20m			11 Mb/s a 6 Mb/s	
A 30m				
A 40m				6 Mb/s
A 48m				2 Mb/s a 1 Mb/s
Mayor de 48m	Baja hasta 1 Mb/s	De 6 a 1Mb/s, o bien pérdida de señal	Se pierde la señal	

Tabla 4.1.4.4.2. Resultados de las velocidades para el estándar 802.11g.

Distancia de medición	Velocidad alcanzada Punto de Acceso Cisco	Velocidad alcanzada Punto de Acceso 3Com	Velocidad alcanzada Punto de Acceso Proxim
A 0m	54 Mb/s	54 Mb/s a 48 Mb/s	48 Mb/s a 36 Mb/s
A 10m	54 Mb/s a 36 Mb/s	36 Mb/s	36 Mb/s a 18 Mb/s
A 20m	36 Mb/s a 24 Mb/s	24 Mb/s	18 Mb/s a 12 Mb/s
A 27m	24 Mb/s a 18 Mb/s	12 Mb/s	12 Mb/s a 6 Mb/s
A 29m	18 Mb/s	12 Mb/s a 6 Mb/s	Se pierde la señal
A 30m	18 Mb/s a 12 Mb/s	12 Mb/s a 6 Mb/s	
A 42m	12 Mb/s	6 Mb/s a 1 Mb/s	
A 54m	12 Mb/s a 2 Mb/s		

Podemos concluir que para alcanzar las velocidades de transmisión deseadas, se tendrán que modificar las distancias a las que deben estar posicionados los clientes para poder hacer las pruebas de transmisión de la voz. Existen diferencias no solamente entre lo que la teoría publica y lo que se obtiene, sino como podemos ver en las dos tablas anteriores, también entre los diferentes fabricantes.

4.1.4.3.1 Determinar la Ubicación de los Clientes.

Con los datos obtenidos en la sección 4.1.4.2 y 4.1.4.3, se tienen las distancias adecuadas para colocar a los clientes para la transmisión de voz, sin embargo, en nuestro caso, para efectos de tener las mediciones en todo el radio de interés, se consideraron las siguientes distancias:

- Para el estándar 802.11b, se realizaron mediciones junto al punto de acceso, a 20m, 30m y 48m.
- Para el estándar 802.11g, se realizaron mediciones junto al punto de acceso, a 27m, 42m y 54m.

Los resultados de las llamadas de VoIP en las distancias descritas anteriormente, se encuentran detallados en la sección 4.1.4.11.

4.1.4.4 Determinar el Número de Puntos de Acceso.

En ésta sección se debe de determinar el número de puntos de acceso a utilizar de acuerdo con el volumen de cobertura previamente definida.

Como se mencionó en la sección 4.1.4.1, solamente se disponía de cuatro puntos de acceso para la implementación, por lo que el experimento se ajustó necesariamente al equipo con el que se contaba.

4.1.4.5 Considerar la Atenuación de la Señal por Obstáculos.

La atenuación de la señal no fue considerada, dado que el experimento fue llevado a cabo en un espacio abierto, para el cual se tiene una pérdida de 0dB por obstáculos. En este experimento sólo existía la atenuación natural de la señal.

4.1.4.6 Determinar las Posibles Pérdidas de Potencia.

La verificación de la potencia se obtuvo con la ayuda del software Network Stumbler en todos los casos, en las pruebas llevadas a cabo para la determinación del SNR, en la sección 4.1.4.2.

4.1.4.7 Determinar la Disposición de los Canales.

En la determinación de los canales, como únicamente se disponían de cuatro puntos de acceso, sólo en uno de ellos había un canal repetido, tanto para el estándar 802.11b como para el 802.11g.

En la figura 3.2.7.1 se presentó la asignación de los canales como recomienda la teoría y no hubo interferencia significativa entre ellos, ya que previamente fueron encontrados los SNR adecuados y las distancias a las que los puntos de acceso se colocarían para evitarlas (sección 4.1.4.2).

4.1.4.8 Transmisión y Recepción a Potencias Idénticas.

En este experimento dado que únicamente se utilizan *softphones* y la potencia a la que transmiten los adaptadores es la misma, no hubo necesidad de hacer más modificaciones. Como comentario adicional podemos decir que los puntos de acceso Cisco utilizados traen entre sus funcionalidades la posibilidad de ajustar la potencia, mientras que los 3Com no.

4.1.4.9 Garantizar como Máximo un 45% de Utilización del Canal de un Punto de Acceso.

Ya que los puntos de acceso 3Com no soportaban las funcionalidades de QoS, ni la creación de VLANs, se tuvieron que realizar pruebas para ajustar el tráfico a una cantidad no mayor al 45%, inyectándole tráfico a la red.

El índice de la utilización del canal de un punto de acceso debe ser menor que el 45%, para garantizar una buena calidad de voz. En este punto se determinó mediante una prueba para cada uno de los estándares el rendimiento real de la red que se tenía cuando no había tráfico en la misma y con tráfico, encontrando de forma aproximada ese 45% de utilización del canal que este punto plantea.

Procedimiento.

En esta prueba se realizaron transferencias de archivos entre un servidor de archivos Apache y los clientes, primero sin tráfico y posteriormente se le puso tráfico a la red empleando el software UDPFlood, con valores de tráfico que se fueron evaluando para así encontrar un equilibrio y obtener el 45% de utilización del canal de un punto de acceso, que era lo que se buscaba para simular las políticas de QoS que se hubieran configurado en

todos los puntos de acceso en caso de que se hubiera contado con esa funcionalidad. La guía de esta prueba puede verse en el anexo A.

Resultados.

En el caso del estándar 802.11b se tuvieron los valores que se aprecian en la tabla 4.1.4.9.1.

Tabla 4.1.4.9.1. Valores del 45% de utilización de un AP, estándar 802.11b.

Fabricante	Tasa promedio de transferencia Sin Tráfico	Tasa promedio de transferencia Con Tráfico
Cisco	370.56 KB/s	277.51 KB/s
3Com	362.44 KB/s	273.11 KB/s
Proxim	No se pudo determinar, ya que no se lograron las transmisiones en todas las distancias en las que las otras 2 marcas fueron evaluadas.	

En el caso del estándar 802.11g se tuvieron los valores que se aprecian en la tabla 4.1.4.9.2.

Tabla 4.1.4.9.2. Valores del 45% de utilización de un AP, estándar 802.11g.

Fabricante	Tasa promedio de transferencia Sin Tráfico	Tasa promedio de transferencia Con Tráfico
Cisco	460.03 KB/s	319.31 KB/s
3Com	468.25 KB/s	355.44 KB/s
Proxim	No se pudo determinar, ya que no se lograron las transmisiones en todas las distancias en las que las otras 2 marcas fueron evaluadas.	

Al analizar cada una de las tasas promedio de transferencia de archivos que se obtuvieron sin tráfico adicional en la red, y conseguir el 45% de utilización del canal, obtenemos de forma aproximada los resultados que se encuentran en la columna de tasa promedio de transferencia con tráfico. Los detalles de la forma en como se encontraron estos valores se encuentran explicados en el Anexo E.

La conclusión de este experimento es que se hizo con la finalidad de simular nuestra red con tráfico, pero garantizando que no fuera superior al 45% para que posteriormente se probara el entorno de pruebas para las llamadas de VoIP.

4.1.4.10 Obtener el Rendimiento Real de la Red.

Adicionalmente es recomendable realizar pruebas para verificar el rendimiento real de la red utilizando software específico. Para este experimento de campo, como ya se ha mencionado en algunas de las secciones anteriores, se utilizaron el Net Meter, Servidor de Archivos Apache y el UDPFlood. Este es un paso indispensable para poder calcular el número de llamadas en la red. Lo que se hizo en esta prueba fue determinar el ancho de banda del que realmente se disponía en la transferencia de archivos.

Procedimiento.

Para poder determinar el número de llamadas que se obtendrían en un momento dado, se procedió a determinar el ancho de banda (rendimiento real de la red) que realmente se estaba alcanzando en cada uno de los dos estándares empleados, mediante la transferencia de archivos entre un servidor de archivos y los clientes.

Para lograr la transferencia de archivos se utilizó una laptop con Apache la cual funcionó como el servidor y a la que los clientes se conectaban vía http, este servidor se encontraba conectado directamente al switch de la red (como se detalló previamente en la figura 4.1.1.2).

En las pruebas en ambos estándares se hicieron varias transferencias; situando a los clientes a diversas distancias del punto de acceso, desde el área que cubre la velocidad máxima hasta la mínima permitida, es decir, para el estándar 802.11b los clientes se encontraban en el área donde la transmisión se debe dar a 11 Mb/s (entre 0 y 48 m, velocidad cruda) y para el estándar 802.11g los clientes se encontraban en el área donde la transmisión se debe dar de 54 Mb/s hasta 18 Mb/s (entre 0 y 54 m, velocidad cruda).

Para poder verificar la realidad de la teoría con la de los resultados obtenidos, estas transferencias de archivos se realizaron con tres marcas de puntos de acceso, las cuales fueron Cisco, 3Com y Proxim, cuyos modelos ya han sido descritos en la sección 4.1.1. Por otra parte, las transferencias se realizaron primero sin tráfico adicional en la red y posteriormente con tráfico, el cual se inyectó buscando el 45% de la utilización del canal.

Resultados.

Las transferencias de archivos fueron realizadas utilizando un archivo de 15 KB y los resultados obtenidos se pueden apreciar en la tabla 4.1.4.10.1 para el estándar 802.11b y en la tabla 4.1.4.10.2 para el estándar 802.11g. Los resultados están expresados en KB/s.

Tabla 4.1.4.10.1. Resultados de la transferencia de archivos estándar 802.11b.

Sin Tráfico						Con Tráfico					
Cisco		3Com		Proxim		Cisco		3Com		Proxim	
TPT	TMP	TPT	TMP	TPT	TMP	TPT	TMP	TPT	TMP	TPT	TMP
370.56	591.9	362.44	579.8	254.21	519.84	277.51	410.9	273.11	401.4	139.73	241.7

TPT = Tasa promedio de transferencia en KB/s
 TMP = Tasa máxima promedio alcanzada en KB/s

Estos resultados son los valores promedios de las transferencias de archivos en las distancias que se detallan a continuación:

- Punto de acceso Cisco y 3Com desde que el cliente se encontraba junto al punto de acceso y hasta una distancia de 48 m, tanto con tráfico como sin él.
- Punto de acceso Proxim desde que el cliente se encontraba junto al punto de acceso y hasta una distancia de 40 m sin tráfico y hasta una distancia de 29 m con tráfico en la red, ya que no se pudieron hacer las transferencias a distancias mayores. Sin embargo, a pesar de esto, las velocidades alcanzadas son menores que con las otras dos marcas.

Tabla 4.1.4.10.2. Resultados de la transferencia de archivos estándar 802.11g.

Sin Tráfico						Con Tráfico					
Cisco		3Com		Proxim		Cisco		3Com		Proxim	
TPT	TMP	TPT	TMP	TPT	TMP	TPT	TMP	TPT	TMP	TPT	TMP
460.03	823.36	468.25	1012	410.8	779	319.31	589	355.44	832	142.28	312.7

TPT = Tasa promedio de transferencia en KB/s
 TMP = Tasa máxima promedio alcanzada en KB/s

Estos resultados fueron arrojados por los valores promedios de las transferencias de archivos en las distancias siguientes:

- Punto de acceso Cisco y 3Com desde que el cliente se encontraba junto al punto de acceso y hasta una distancia de 54 m, tanto con tráfico como sin él.
- Punto de acceso Proxim desde que el cliente se encontraba junto al punto de acceso y hasta una distancia de 27 m sin tráfico y hasta una distancia de 15 m con tráfico en la red, ya que no se pudieron hacer las transferencias a distancias mayores.

En las pruebas de ambos estándares se utilizó el software Net Meter para obtener la medición real del ancho de banda utilizado, el cual también fue comparado con los resultados que se obtienen de Windows, los cuales resultaron equivalentes.

Según los resultados obtenidos de transferencia de archivos nos podemos dar cuenta que para el estándar 802.11b, los resultados que se obtienen son aproximadamente la mitad de lo que indica la teoría, lo cual está bien si consideramos que en realidad estamos usando la mitad, sin embargo, para el estándar 802.11g las cosas son distintas ya que las velocidades obtenidas representan un bajo porcentaje de lo que el estándar publica. Estos resultados se presentan en la tabla 4.1.4.10.3 y debemos tener en cuenta que únicamente se consideraron las tasas máximas obtenidas las cuales sólo fueron logradas en pequeños momentos, sin tráfico en la red y estando junto al punto de acceso. Sólo se presentan estos datos los cuales son suficientes para darnos cuenta de lo que sucede, ya que los resultados obtenidos a distancias mayores y con tráfico son aún más pequeños.

Tabla 4.1.4.10.3. Porcentajes de los publicados por la teoría que se alcanzaron en el experimento de la transmisión de archivos.

Estándar	Vel. teórica radio más cercano al AP	Máxima vel. obtenida radio más cercano al AP en KB/s					
		Cisco	UC	3Com	UC	Proxim	UC
802.11b	11 Mb/s	651.5	48.52%	651	48.52%	569	42.37%
802.11g	54 Mb/s	1228	18.63%	1330	20.18%	1432	21.72%

UC = Utilización del Canal

Es importante mencionar que estos resultados sólo consideran las tasas máximas obtenidas, las cuales fueron obtenidas en pequeños momentos, sin tráfico en la red y estando junto al punto de acceso.

Por otro lado las velocidades arrojadas no son las que el procedimiento propuesto apegado a la teoría sugiere para dar soporte de voz, como se puede apreciar en las tablas 4.1.4.10.4 y 4.1.4.10.5, por lo que se esperaba que la llamadas concurrentes fueran menos de las esperadas por la teoría.

Tabla 4.1.4.10.4. Resultados obtenidos versus deseados sin tráfico en la red.

Estándar	Vel. promedio obtenida Radios de interés			Vel. deseada para VoIP
	Cisco	3Com	Proxim	
802.11b	3.04 Mb/s	2.97 Mb/s	2.08 Mb/s	11 Mb/s
802.11g	3.77 Mb/s	3.84 Mb/s	3.37 Mb/s	18 Mb/s o superior

Tabla 4.1.4.10.5. Resultados obtenidos versus deseados con tráfico en la red.

Estándar	Vel. promedio obtenida Radios de interés			Vel. deseada para VoIP
	Cisco	3Com	Proxim	
802.11b	2.27 Mb/s	2.24 Mb/s	1.14 Mb/s	11 Mb/s
802.11g	2.62 Mb/s	2.91 Mb/s	1.17 Mb/s	18 Mb/s o superior

4.1.4.11 Determinar el Número de Clientes para Voz y Datos.

En esta sección se desarrollaron dos pruebas de importancia, en la primera se procedió a determinar el número de clientes para voz y para datos que podrían estar conectados a la WLAN en un momento dado tanto con tráfico como sin él y en la segunda prueba se procedió a determinar si se podía tener movilidad de los clientes entre puntos de acceso. La guía de esta prueba puede verse en el anexo A y los formatos para la recopilación de resultados en el anexo B.

Procedimiento primera prueba.

En esta prueba se procedió a determinar el número de clientes para VoIP y datos que soportaría una red 802.11b y una 802.11g. Para tal efecto, se instaló una red inalámbrica en el área establecida en la sección 4.1.4.1 como se pudo apreciar en las figuras 4.1.4.1.1 y 4.1.4.1.2 utilizando cuatro puntos de acceso, dos de los cuales de la marca Cisco y los otros dos de la marca 3Com, para establecer las llamadas de VoIP en cada uno de los dos estándares. Una vez armada la red se procedió a realizar las llamadas, las cuales fueron hechas entre puntos de acceso de igual marca. Cada uno de los clientes tenía instalado dos *softphones* el X-Lite y el eyeBeam, por lo que cada uno tenía asignado dos extensiones y de forma simultánea podían mantener hasta dos llamadas al mismo tiempo; se optó por este mecanismo ya que no se contó con gran cantidad de clientes para hacer las pruebas, además de no poder tener abiertas dos o más instancias del mismo *softphone*.

Las llamadas de voz se llevaron a cabo utilizando primero el codec gsm que ocupa un ancho de banda de 13 Kb/s y posteriormente con el codec g711u que ocupa un ancho de banda de 64 Kb/s. Con ambos codecs las llamadas fueron realizadas primero sin tráfico en la red y posteriormente se le inyectó tráfico, manteniendo el 45% de la utilización del canal de un punto de acceso cuando mucho; valor previamente encontrado.

El flujo en las llamadas realizadas en esta prueba se dio entre clientes ubicados en puntos de acceso de igual marca, como se puede apreciar en la figura 4.1.4.11.1. En cada punto de acceso Cisco se colocaron 3 clientes con 2 extensiones cada uno y para los 3Com se colocaron 2 clientes con 2 extensiones cada uno.

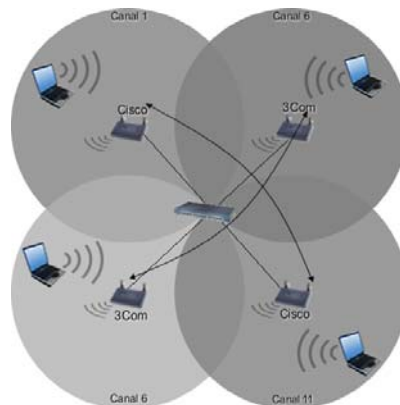


Figura 4.1.4.11.1. Flujo de las llamadas.

Resultados primera prueba.

Los resultados en toda la red considerando los cuatro puntos de acceso para el estándar 802.11b fueron los siguientes.

Con el codec gsm, sin tráfico en la red, se pueden apreciar los resultados en la tabla 4.1.4.11.1 y con tráfico en la red, los resultados se encuentran en la tabla 4.1.4.11.2. Por su parte la tabla 4.1.4.11.3 detalla los resultados de las llamadas realizadas con el codec g711u sin tráfico y la tabla 4.1.4.11.4 con tráfico. En los casos en los que se le inyectó tráfico a la red fue sin superar el 45% de utilización del canal. En estas tablas también está representado el MOS, que es la medida más popular de claridad según especificación UIT-P.800, que se implementa a través de las opiniones de un grupo de personas, es un concepto subjetivo que mide la fidelidad e inteligibilidad de la conversación percibida por quienes experimentan la misma [FERR04, INTE06].

Tabla 4.1.4.11.1. Llamadas sin tráfico, codec gsm, estándar 802.11b.

Lugar	Número de Llamadas	MOS	SNR	Vel Cisco	Vel 3Com	Comentario
Junto AP	9 Es [6e, 2b, 1ma]	4.38	44	11	11	
A 20 m	8 Es [6mb, 2b]	3.875	18	11	11 a 6	R, E, C
A 30 m	6 Es [2mb, 3b, 1ma]	3	13	11	6 a 2	E, C, R
A 48 m	No se logró la comunicación, hay muchos cortes como para evaluar					

Es = Llamadas establecidas, e = Llamada de excelente calidad, mb = Llamadas de muy buena calidad, b = Llamadas de buena calidad, ma = mala, R = Llamada con ruido, C = Llamada con cortes, I = Llamada con interferencia, E = Llamada con eco, MOS = Mean Opinion Score

Tabla 4.1.4.11.2. Llamadas con tráfico, codec gsm, estándar 802.11b.

Lugar	Número de Llamadas	MOS	SNR	Vel Cisco	Vel 3Com	Comentario
Junto AP	8 Es [5e, 1mb, 2b]	4	40	11	11	Poco ruido
A 20 m	8 Es [4mb, 4b]	3.5	23	11	11 a 6	R, voz lejana
A 30 m	5 Es [5b]	2.86	17	11	6 a 2	C, R
A 48 m	No se logró la comunicación, hay muchos cortes como para evaluar					

Es = Llamadas establecidas, e = Llamada de excelente calidad, mb = Llamadas de muy buena calidad, b = Llamadas de buena calidad, ma = mala, R = Llamada con ruido, C = Llamada con cortes, I = Llamada con interferencia, E = Llamada con eco, MOS = Mean Opinion Score

Tabla 4.1.4.11.3. Llamadas sin tráfico, codec g711u, estándar 802.11b.

Lugar	Número de Llamadas	MOS	SNR	Vel Cisco	Vel 3Com	Comentario
Junto AP	8 Es [7e, 1mb]	4.5	29	11	11	
A 20 m	8 Es [8mb]	4	26	11	11 a 6	C, R
A 30 m	5 Es [3mb, 2b]	3.38	15	11	6 a 2	I, C
A 48 m	No se logró la comunicación, hay muchos cortes como para evaluar					

Es = Llamadas establecidas, e = Llamada de excelente calidad, mb = Llamadas de muy buena calidad, b = Llamadas de buena calidad, ma = mala, R = Llamada con ruido, C = Llamada con cortes, I = Llamada con interferencia, MOS = Mean Opinion Score

Tabla 4.1.4.11.4. Llamadas con tráfico, codec g711u, estándar 802.11b.

Lugar	Número de Llamadas	MOS	SNR	Vel Cisco	Vel 3Com	Comentario
Junto AP	8 Es [6e, 2mb]	4.25	35	11	11	
A 20 m	8 Es [5mb, 3b]	3.63	26	11	11 a 6	C, R
A 30 m	4 Es [1mb, 4b]	3.13	17	11	6 a 2	E, C, R
A 48 m	No se logró la comunicación, hay muchos cortes como para evaluar					

Es = Llamadas establecidas, e = Llamada de excelente calidad, mb = Llamadas de muy buena calidad, b = Llamadas de buena calidad, ma = mala, R = Llamada con ruido, C = Llamada con cortes, I = Llamada con interferencia, MOS = *Mean Opinion Score*

Cabe destacar que aún cuando para este estándar se lograron transmisiones de archivos hasta los 48m, ya en la implementación de las llamadas no fue posible sostenerlas después de los 30m, esto puede deberse a las políticas de QoS que utilizan los protocolos para el control de llamadas.

Los resultados en toda la red considerando los cuatro puntos de acceso para el estándar 802.11g fueron los siguientes. Con el codec gsm, sin tráfico en la red, se pueden apreciar los resultados en la tabla 4.1.4.11.5 y con tráfico en la red, los resultados se encuentran en la tabla 4.1.4.11.6. Por su parte la tabla 4.1.4.11.7 detalla los resultados de las llamadas realizadas con el codec g711u sin tráfico y la tabla 4.1.4.11.8 con tráfico.

Tabla 4.1.4.11.5. Llamadas sin tráfico, codec gsm, estándar 802.11g.

Lugar	Número de Llamadas	MOS	SNR	Vel Cisco	Vel 3Com	Comentario
Junto AP	9 Es [7mb, 2ma]	3.7	47	54	54-24	
A 27 m	8 Es [5b, 3ma]	2.7	30	24-18	12	R
A 42 m	6 Es [2b, 4ma]	2.4	20	12	5.5-2	I, C, R
A 54 m	5Es [5ma]	1.3	10	11-2	5.5-1	C

Es = Llamadas establecidas, e = Llamada de excelente calidad, mb = Llamadas de muy buena calidad, b = Llamadas de buena calidad, ma = mala, R = Llamada con ruido, C = Llamada con cortes, I = Llamada con interferencia, MOS = *Mean Opinion Score*

Tabla 4.1.4.11.6. Llamadas con tráfico, codec gsm, estándar 802.11g.

Lugar	Número de Llamadas	MOS	SNR	Vel Cisco	Vel 3Com	Comentario
Junto AP	9 Es [6mb, 3ma]	3.2	41	54	54-24	
A 27 m	6 Es [3b, 3ma]	2.5	26	24-18	12	I, R, C
A 42 m	6 Es [6ma]	1.8	21	12	5.5-2	I, R
A 54 m	5 Es [5ma]	1	10	11-2	5.5-1	I, C

Es = Llamadas establecidas, e = Llamada de excelente calidad, mb = Llamadas de muy buena calidad, b = Llamadas de buena calidad, ma = mala, R = Llamada con ruido, C = Llamada con cortes, I = Llamada con interferencia, MOS = *Mean Opinion Score*

Tabla 4.1.4.11.7. Llamadas sin tráfico, codec g711u, estándar 802.11g.

Lugar	Número de Llamadas	MOS	SNR	Vel Cisco	Vel 3Com	Comentario
Junto AP	8 Es [8e]	4.3	40	54	54-24	
A 27 m	8 Es [5b, 3ma]	3.3	25	24-18	12	C, R
A 42 m	5 Es [3b, 2ma]	2.5	15	12	5.5-2	I, C
A 54 m	5 Es [5ma]	1.5	11	11-2	5.5-1	R

Es = Llamadas establecidas, e = Llamada de excelente calidad, mb = Llamadas de muy buena calidad, b = Llamadas de buena calidad, ma = mala, R = Llamada con ruido, C = Llamada con cortes, I = Llamada con interferencia, MOS = *Mean Opinion Score*

Tabla 4.1.4.11.8. Llamadas con tráfico, codec g711u, estándar 802.11g.

Lugar	Número de Llamadas	MOS	SNR	Vel Cisco	Vel 3Com	Comentario
Junto AP	8 Es [8e]	4.2	36	54	54-24	
A 27 m	6 Es [4b, 2ma]	2.4	22	24-18	12	C, R
A 42 m	6 Es [3b, 3ma]	2.2	16	12	5.5-2	R
A 54 m	4 Es [1b, 3ma]	1.3	11	11-2	5.5-1	I

Es = Llamadas establecidas, e = Llamada de excelente calidad, mb = Llamadas de muy buena calidad, b = Llamadas de buena calidad, ma = mala, R = Llamada con ruido, C = Llamada con cortes, I = Llamada con interferencia, MOS = *Mean Opinion Score*

Considerando que las llamadas se realizaron entre los puntos de acceso de igual marca, es decir, las llamadas se establecieron de Cisco a Cisco y de 3Com a 3Com, podemos obtener resultados por separado en cada una de las distintas marcas, sin embargo, lo más relevante es el hecho de que la mayor cantidad de llamadas y la mejor calidad se logró entre aquellas que se realizaron entre los puntos de acceso Cisco. Así, como también la mayor cantidad de llamadas de excelente calidad se obtuvo con el codec g711u. El detalle de las tablas con la explicación de las llamadas se encuentra en el anexo C y D.

Con los datos obtenidos en la sección 4.1.4.10 y el número de llamadas alcanzadas en la red, contamos ya con todos los elementos para encontrar el Factor de Corrección de forma experimental, el cual es parte de la fórmula propuesta para determinar el número de llamadas.

Cálculo del número de llamadas.

Cómo ejemplo de la aplicación de la fórmula, se realiza el cálculo del número de llamadas para dos de los posibles casos.

Haciendo referencia a la fórmula planteada por el procedimiento propuesto en la sección 3.2.11, nos damos cuenta que para poder aplicarla aún nos falta determinar el Factor de Corrección, para obtenerlo procedimos a multiplicar el número de llamadas encontradas en la experimentación por el consumo del codec que se estuviera empleando, esto dividido entre el ancho de banda del que se disponía

Estándar 802.11b, codec gsm, sin tráfico.

$$Factor_Corrección = \frac{(9)(13Kb)}{3002.368Kb} = 0.0390$$

En donde los datos que intervienen en la fórmula fueron obtenidos de la siguiente manera:

- El número 9 se obtiene del total de llamadas generadas junto al punto de acceso (tabla 4.1.4.11.1).
- El número 13 se obtiene del consumo del codec gsm.
- El número 3002.368 se obtiene encontrando un promedio de las Velocidades Promedio Obtenidas en los radios de interés en los puntos de acceso Cisco y 3Com y realizando su conversión a Kb/s (tabla 4.1.4.10.4).

Con el factor de corrección determinamos el número aproximado de llamadas.

$$Número_de_Llamadas = \frac{0.0390(3002.368Kb)}{13Kb} = 9.007$$

Estándar 802.11g, codec g711u, con tráfico.

$$Factor_Corrección = \frac{(8)(64Kb)}{2763.776Kb} = 0.1852$$

En donde los datos que intervienen en la fórmula fueron obtenidos de la siguiente manera:

- En número 8 se obtiene del total de llamadas generadas junto al punto de acceso (tabla 4.1.4.11.8).
- El número 64 se obtiene del consumo del codec g711u.
- El número 2763.776 se obtiene encontrando un promedio de las Velocidades Promedio Obtenidas en los radios de interés en los puntos de acceso Cisco y 3Com y realizando su conversión a Kb/s (tabla 4.1.4.10.5).

Con el factor de corrección determinamos el número aproximado de llamadas.

$$\text{Número_de_Llamadas} = \frac{0.1852(2763.776\text{Kb})}{64\text{Kb}} = 7.997$$

Los resultados después de la aplicación de la fórmula del Factor de Corrección para los demás casos posibles se encuentran expresados en la tabla 4.1.4.11.9.

Tabla 4.1.4.11.9. Factor de Corrección.

Estándar	Codec	Sin tráfico	Con tráfico
802.11b	Gsm	0.0390	0.0461
	g711u	0.1705	0.2270
802.11g	Gsm	0.0308	0.0423
	g711u	0.1347	0.1852

Procedimiento segunda prueba.

Para poder determinar si las llamadas se podían mantener de un punto de acceso a otro, se procedió a establecer llamadas estando el cliente ubicado en un punto de acceso y de ahí moverse hacia otro distinto. Las pruebas se llevaron a cabo entre puntos de acceso de igual marca (de Cisco a Cisco y de 3Com a 3Com) y de distinta marca (de Cisco a 3Com y viceversa). Todos los puntos de acceso tenían una dirección IP diferente en la misma red.

Resultados segunda prueba.

En ninguno de los escenarios planteados anteriormente se logró mantener la llamada, ya que en todos los casos se cortaba y posteriormente al llegar a otro punto de acceso se tenía que volver a establecer. Por lo tanto se concluye que la itinerancia no se logra ni siquiera a nivel de capa 2, es decir, no se logra el *hand off*.

4.1.4.12 Realizar Pruebas de no Interferencia de Otras Redes.

Es importante considerar si tenemos edificios cerca con WLANs que los canales de los puntos de acceso de éstas no interfieran con los nuestros.

Para nuestro caso como se mencionó anteriormente se puso la red en el edificio que se encuentra en Xochitepec del ITESM Campus Cuernavaca, por ser un lugar en las afueras de la ciudad no se contaban con edificios ni casas aledañas con redes inalámbricas, sin

embargo, este dato fue cotejado con los resultados arrojados por el software Network Stumbler, el cual tiene entre sus funciones la detección de los puntos de acceso a su alrededor incluyendo los canales en los que estuvieran operando.

4.1.4.13 Ajustes del Área de Cobertura para Evitar Interferencias.

En este punto se menciona que se deben de ajustar las distancias cubiertas en los puntos de acceso para evitar interferencias, sin embargo, como sólo se contaba con cuatro de ellos y tampoco se tenían otros puntos de acceso alrededor, en nuestro caso no se consideró este ajuste, por otra parte los puntos de acceso 3Com utilizados no soportaban esta funcionalidad.

4.2 Análisis de Resultados de las Pruebas Realizadas.

En el diseño de una red inalámbrica con soporte de voz y de datos es importante destacar que seguir un procedimiento como tal apegados a la teoría, es prácticamente imposible si queremos que al finalizarlo las cosas funcionen como pudiéramos estar esperando. Durante la implementación del procedimiento aquí propuesto, hemos podido observar que existen diferencias entre lo que dicta la teoría y lo que arrojan las pruebas de campo. Por otra parte también existen claras diferencias entre los distintos fabricantes de equipos, no sólo en cuanto al rendimiento de los mismos, sino también a las funcionalidades que traen integradas.

Con base en las pruebas realizadas podemos concluir después del análisis de los resultados lo siguiente:

- La relación distancia - velocidad que publican los estándares en comparación con las obtenidas por el Network Stumbler, no se logró; como se pudo observar en las tablas 4.1.4.4.1 y 4.1.4.4.2, existen claras diferencias en esta relación así como también entre los 3 fabricantes analizados (Cisco, 3Com y Proxim).
- A muy poca distancia del punto de acceso se empieza a degradar el valor del SNR obteniendo resultados muy pequeños en comparación a los sugeridos por la teoría, por tal motivo las llamadas de excelente calidad sólo se lograrán estando a muy poca distancia del punto de acceso. Cabe hacer mención que también existen diferencias entre los SNR obtenidos por los 3 fabricantes analizados.
- En cuanto al ancho de banda máximo que dicta la teoría, haciendo un análisis de los resultados arrojados sin tráfico en la red:
 - Para el estándar 802.11b la teoría dice que es de 11 Mb/s en su radio más cercano al punto de acceso, y en las pruebas experimentales de transferencia

de archivos se alcanzaron tasas promedio de 370.56 KB/s (3.04Mb/s) lo que representa el 27.60% con la marca Cisco; 362.44 KB/s (2.97Mb/s) lo que representa el 26.99% con la marca 3Com y 254.21 KB/s (2.08Mb/s) lo que representa el 18.93% con la marca Proxim (tabla 4.1.4.10.4). En conclusión las tasas de transferencia son similares en las marcas Cisco y 3Com, pero existe diferencia con la marca Proxim, sin embargo, el porcentaje obtenido respecto al valor teórico es pequeño en los 3 casos.

- Para el estándar 802.11g es de 54 Mb/s en su radio más cercano al punto de acceso, y en las pruebas experimentales de transferencias de archivos, se alcanzaron tasas promedio de 460.03 KB/s (3.77Mb/s) lo que representa el 6.98% con la marca Cisco, 468.25 KB/s (3.84Mb/s) lo que representa el 7.10% con la marca 3Com y 410.8 KB/s (3.37Mb/s) lo que representa el 6.23% con la marca Proxim (tabla 4.1.4.10.4). Al igual que con el estándar 802.11b, las tasas de transferencia son similares en las marcas Cisco y 3Com y aún cuando al comparar con Proxim existen diferencias, es importante mencionar que ese valor se obtuvo con las transferencias hechas desde 0m hasta los 40m, mientras que para las otras dos marcas se lograron con transferencias de 0m hasta los 54m. Nuevamente a semejanza del estándar 802.11b, las tasas de transferencia son similares en las marcas Cisco y 3Com, pero existe diferencia con la marca Proxim, sin embargo, el porcentaje obtenido respecto al valor teórico es pequeño en los 3 casos.
- A pesar de que las marcas Cisco y 3Com arrojan resultados similares en la transferencia de archivos, en la implementación del escenario para la transmisión de voz el rendimiento no fue equivalente, sin embargo, esto puede deberse a que los codecs consumen más ancho de banda de lo esperado.
- La cantidad de llamadas logradas es muy pequeña, además la calidad de las mismas baja considerablemente a muy poca distancia del punto de acceso (30m para el estándar 802.11b y 42m para el 802.11g) por lo que no se puede recomendar con ninguno de los dos estándares la implementación del procedimiento como una extensión de la red cableada en lugares de grandes dimensiones donde la demanda de llamadas de voz sea en demasía como podría ser un campus. Bajo ciertas condiciones, dado que las pruebas realizadas no arrojaron resultados del todo óptimos, se podría implementar en lugares pequeños y que no requieran de gran cantidad de llamadas o bien optar por un mayor número de puntos de acceso colocados en posiciones en las que nos den una buena relación distancia – velocidad – SNR y que al mismo tiempo no se interfieran entre ellos.
- Es aconsejable hacer un análisis del rendimiento real de la red que se dispone y estimar el número de llamadas posibles antes de hacer la implementación final de la misma.

- Es recomendable de acuerdo a los resultados arrojados en este estudio de campo, que cuando se desee implementar una red inalámbrica para soportar voz y datos, se lleve a cabo un estudio del hardware con el que se cuenta, para asegurarse de los valores que en realidad maneja y no fiarnos de lo que la teoría dice.
- Es importante mencionar que los experimentos realizados se llevaron a cabo en exteriores, en donde no hay pérdida de potencia de la señal ocasionada por obstáculos, por lo que podemos concluir que si en exteriores se obtienen valores muy pequeños de SNR, de velocidades indicadas por el Network Stumbler, del rendimiento real de la red y del alcance de la señal respecto del punto de acceso, aplicar este procedimiento en interiores requeriría de un análisis exhaustivo para obtener los valores con los cuales se trabajaría en estas circunstancias, teniendo que modificar muy probablemente muchos de los aspectos aquí planteados.

Específicamente en cuanto a las llamadas realizadas en ambos estándares utilizados podemos concluir lo siguiente:

- En cuanto a los puntos de acceso utilizados:
 - Las laptop con adaptadores extraíbles lograron SNR menores que los integrados.
 - La calidad de las llamadas fue mejor en las hechas con los puntos de acceso Cisco que con los 3Com.
 - Se presume que el viento fuerte hace que la señal se pierda, en ambas marcas de puntos de acceso.
 - Las llamadas realizadas desde un mismo punto de acceso, pero con los clientes cercanos presentaron problemas en la calidad de la llamada por las interferencias que ellos mismos se causaban.
 - Los puntos de acceso Cisco tuvieron una mejor cobertura que los 3Com.
 - Los puntos de acceso 3Com presentaron velocidades menores en los distintos radios que los Cisco en las mismas distancias.
- En cuanto a los codecs utilizados:
 - Con el codec gsm no se logró ninguna llamada de excelente calidad en el estándar 802.11g.
 - El codec g711u presentó un mejor MOS (*Mean Opinion Score*) en todas las pruebas realizadas que el codec gsm.

- Aún cuando se obtuvieron más llamadas con el codec gsm que con el g711u, no es un valor significativo considerando que gsm consume poco ancho de banda en comparación con g711u y teóricamente se esperaba que gsm lograra sostener un mayor número de llamadas concurrentes; este comportamiento se debe a la sobrecarga que conlleva la llamada, haciendo uso de este codec.
- Llamadas de excelente calidad sólo se lograron con SNR superior a los 25dB, en ambos estándares.
- En cuanto a la movilidad de los clientes podemos observar que aún no se logra la itinerancia en capa 2, para que se pueda dar el desplazamiento, debido a la falta del mecanismo de *hand off* o bien cambio automático de canal.
- En cuanto a la distancia que un punto de acceso puede cubrir, dependiendo del estándar:
 - Para el 802.11b, se puede cubrir hasta una distancia de 82m, pero en este caso sólo nos interesan los primeros 48 m que son los que transmiten a 11 Mb/s; sin embargo, en la realización de las pruebas nos pudimos dar cuenta que se obtienen cuando mucho 3 llamadas de muy buena calidad cuando se encuentra a una distancia de hasta 30m, más allá de esta distancia no se obtiene ninguna llamada que pueda ser sostenida por cierto tiempo, ya que la comunicación se corta con frecuencia, y cuando se logra tiene ruido e interferencia, lo que hace que el cliente no la considere una llamada entendible.
 - Para el 802.11g, se puede cubrir hasta una distancia de 91 m, pero en este caso sólo nos interesan los primeros 54 m que son los que transmiten a 18 Mb/s o superior; en la realización de las pruebas se obtienen cuando mucho 3 llamadas de calidad buena cuando se encuentra a una distancia de hasta 42m, más allá de esta distancia sucede lo mismo que con el estándar 802.11b al pasar de los 30m.
 - Como consecuencia de lo anterior, es conveniente determinar hasta que distancia se pueden lograr llamadas que el cliente pudiera considerar como aceptables y con base en esto decidir el número de puntos de acceso.
- En conclusión no existen grandes diferencias entre los resultados obtenidos con el estándar 802.11b comparándolo con el 802.11g, en parte se debe a que como también se apreció en las pruebas, en las que se midió el ancho de banda real utilizado, no hay grandes diferencias entre uno y otro estándar a pesar de lo que los fabricantes publican, por otra parte también se debe a la sobrecarga que conllevan los codecs utilizados en las pruebas.

Capítulo 5

Conclusiones y Trabajos Futuros

En este capítulo, se presentan los resultados finales de la investigación, las conclusiones más importantes que pueden extraerse del presente estudio y por último el posible trabajo futuro que podría dar continuidad a esta tesis.

5.1 Conclusiones.

La transmisión de voz sobre el protocolo de Internet o bien comúnmente dicho VoIP a través de una red inalámbrica de área local se está volviendo una necesidad; sin embargo, existe un problema muy importante y es el hecho de que en los diseños de WLAN actuales la disposición de los puntos de acceso no es ideal para poder establecer una buena comunicación ya que básicamente están hechos para transportar datos. Esta fue la razón principal por la que se decidió llevar a cabo este estudio y determinar si las WLAN actualmente implantadas en nuestro medio tienen la capacidad suficiente para la transmisión de la voz.

Para poder lograr lo planteado anteriormente se creó un patrón de diseño y distribución de puntos de acceso para redes inalámbricas con soporte de voz sobre IP y datos, considerando una WLAN 802.11. Este patrón resulta útil al momento de crear un diseño óptimo para voz y datos obteniendo una máxima funcionalidad, por otra parte la implementación del mismo no es complejo y tiene la ventaja de que puede ser extensible a otros estándares. Como primer paso para lograr el patrón se realizó un análisis exhaustivo de todos los estándares con el objetivo de determinar aquellos que manejan velocidades suficientes para soportar voz, decidiendo utilizar el 802.11b y el 802.11g.

Con base en lo anterior se creó un procedimiento en los estándares seleccionados, para el cual se propusieron 13 puntos, en los que se detalló paso a paso todos aquellos aspectos que se deben tener en cuenta al momento de hacer una red para voz y datos; aspectos como el área de ocupación de la red, cantidad de puntos de acceso, valores adecuados de SNR, la relación velocidad – distancia, entre otros.

Con el procedimiento finalizado, se implementó un escenario experimental en cada uno de los dos estándares. Esta implementación se llevó a cabo probando punto por punto todos los pasos propuestos, lo que implicó hacer varias pruebas y como prueba final una vez establecida la red, se procedió con las llamadas de VoIP. Este experimento se realizó en el edificio de Xochitepec del ITESM, Campus Cuernavaca utilizando para tal efecto dos codecs distintos y haciendo las pruebas sin más tráfico en la red que las mismas llamadas y por otra parte inyectándole una cantidad de tráfico que cumplía con el 45% de utilización

del canal propuesto. Esta última prueba fue desarrollada bajo un entorno de pruebas apropiadas y nos arrojó los datos que se presentan en la tabla 5.1.1, en ella se presentan los resultados obtenidos a una distancia evaluada menor de 20m.

Tabla 5.1.1. Resultado de las llamadas.

Estándar	Codec	Número de llamadas	Estado de la red
802.11b	Gsm	6e, 2b, 1ma	Sin tráfico
		5e, 1mb, 2b	Con tráfico
	g711u	7e, 1mb	Sin tráfico
		6e, 2mb	Con tráfico
802.11g	Gsm	7mb, 2ma	Sin tráfico
		6mb, 3ma	Con tráfico
	g711u	8e	Sin tráfico
		8e	Con tráfico

e = excelente, mb = muy buena, b = buena, ma = mala

A pesar de los datos obtenidos, es importante mencionar que esta cantidad dada pudiera variar en función del tráfico de datos de la red, ya que para esta prueba se cumplió como se mencionó anteriormente con un máximo de utilización del canal de un 45% en los puntos de acceso.

A la par del experimento anterior se realizaron otras pruebas de campo para constatar la veracidad de la teoría con la realidad y así poder determinar en cada uno de los dos estándares los siguientes aspectos:

- La relación velocidad – distancia.
- El SNR que se obtiene en diferentes distancias respecto del punto de acceso.
- Las tasas de transferencia que realmente se estaban utilizando (rendimiento real de la red).
- La cantidad de llamadas que se pueden mantener de manera simultánea utilizando cada uno de los dos estándares.

Después de llevar a cabo todas las pruebas para verificar lo propuesto, se tuvieron las bases para poder hacer el refinamiento adecuado al procedimiento, ya que nos pudimos dar cuenta que la teoría no siempre va de la mano con la realidad, por lo que hay puntos de los que se proponen en el procedimiento que resulta convenientes hacerles un ajuste. Básicamente se tuvieron que hacer ajustes a los siguientes aspectos:

- La relación teórica velocidad – distancia, difiere de los valores obtenidos en la práctica con el uso del *software* Network Stumbler.

- El SNR que arroja cada uno de los puntos de acceso evaluados, es muy variable, tanto que es recomendable verificarlo en función del fabricante a utilizar.
- El 45% de utilización del canal se obtiene con distintos valores dependiendo del fabricante. Es conveniente verificarlo experimentalmente, en caso de que no se disponga de puntos de acceso con QoS.
- Las distancias en las que en teoría se debería lograr la comunicación no se alcanzaron, por consiguiente también se vuelve un punto que es necesario validar.
- El rendimiento real de la red obtenido de la transferencia de archivos dista de los valores teóricos.

En conclusión podemos decir que los resultados obtenidos son diferentes de lo que los fabricantes publican por un lado, por otra parte también existen diferencias considerables entre las diversas marcas con las que fueron llevados a cabo los experimentos.

Como resultado de este trabajo experimental podemos concluir que diseñar una red inalámbrica como una extensión de la cableada en los estándares 802.11b y 802.11g puede ser factible en lugares pequeños con clientes fijos en los que no sea necesaria una gran cantidad de llamadas y que además los clientes no se encuentren separados por enormes distancias. En áreas muy distantes una llamada de voz se vuelve poco factible dada la calidad que se observó, adicionalmente a esto en las llamadas realizadas se presume que el viento fuerte es un factor determinante para poder mantenerse en la red en todo momento, ya que una ráfaga puede hacer que el cliente pierda la red y por consiguiente la llamada de voz.

A pesar de que no se llevó a cabo una experimentación en lugares cerrados, se piensa que los resultados serían inferiores a los aquí obtenidos en todas las pruebas dada la atenuación que sufriría la señal al atravesar diversos tipos de obstáculos, sin embargo, es factible la aplicación del procedimiento propuesto.

En cuanto a los codecs utilizados, podemos observar que aún cuando se publica que consumen una determinada cantidad del ancho de banda, la realidad es que no se obtuvieron la cantidad de llamadas que se esperaban con base en ese consumo, se concluye que existe una sobrecarga adicional lo que hace que este valor decaiga.

Otro punto de importancia es que no se logra la movilidad de clientes entre dos puntos de acceso distintos, ya que no se pudo mantener ninguna llamada en las pruebas realizadas, por lo tanto las WLAN con los estándares 802.11b y 802.11g bajo las condiciones planteadas en esta investigación, no pueden ofrecer itinerancia para VoIP sin el mecanismo de *hand off*.

El procedimiento propuesto en esta investigación se encuentra ajustado a lo que la teoría reporta, sin embargo, la implementación del mismo en el escenario experimental nos reportó un aspecto que se vuelve importante y es el hecho de no fiarse en los valores publicados por la teoría y los fabricantes ya que como se demostró existen diferencias con la realidad y aún entre las diferentes marcas que se encuentran en el mercado.

5.2 Trabajos Futuros.

A continuación se presenta una lista de trabajos futuros que se pueden llevar a cabo para ampliar el conocimiento en el diseño de una red inalámbrica con soporte de VoIP y datos corriendo sobre el estándar 802.11 propuesto por la IEEE:

- Implementar el procedimiento propuesto haciendo la evaluación de la VoIP considerando aspectos de QoS en las diferentes capas y con los resultados hacer una comparación con lo que aquí se plantea.
- Implementar el procedimiento propuesto en un ambiente real de trabajo el cual incluya interiores, para así poder generar resultados y hacer comparaciones con los resultados de esta investigación.
- Por otra parte sería conveniente crear un procedimiento para diseñar WLANs con soporte de VoIP con el estándar 802.11n en cuanto este sea concluido por el IEEE y se tenga un fácil acceso a los dispositivos tecnológicos necesarios para poder implementarlo, ya que por sus características físicas como el hecho de utilizar 3 antenas en lugar de dos, las velocidades que soporta y la distancia de cobertura que este estándar propone, se puede pensar en él como el estándar futuro de las WLANs.
- Elaborar un procedimiento de VoIP y datos en el estándar 802.11a y generar resultados, teniendo en cuenta que este estándar tiene hasta 8 canales que no se solapan y opera en la banda de frecuencia de los 5 GHz.

Referencias

Referencias Bibliográficas.

- [CAPA05] Capacity, Coverage, and Deployment Considerations for IEEE 802.11g. Cisco Systems. White Paper. USA, 2005.
- [DAVI01] Davidson, Jonathan. Fundamentos de Voz sobre IP. Cisco Press. Madrid, España, 2001.
- [ENGS03] Engst, Adam y Fleishman, Glenn. Introducción a las Redes Inalámbricas. Anaya. Madrid 2003.
- [FERR04] Ferreira, A, et all. VoIP en Redes Corporativas. Anteldata. Montevideo, Uruguay 2004.
- [FUND04] Fundamentals of Wireless LANs, Companion Guide. Cisco Networking Academy Program. Cisco Press. Indianapolis, USA, 2004.
- [GARC06] García, Néstor. Modelo de Cobertura en Redes Inalámbricas Basado en Radiosidad por Refinamiento Progresivo. Tesis Doctoral. Oviedo, España. Enero de 2006.
- [INTR06] Introducción a los Codec's de Voz. http://www.rydsa.com.ar/voip_info3.htm Consultado el 15 de marzo de 2006.
- [MEDE04] Medepalli, K; et all. Voice Capacity of IEEE 802.11b, 802.11a and 802.11g Wireless LANs. Toshiba America Research Inc. New Jersey, Estados Unidos. 2004
- [MUÑO05] Muñoz, Alberto. Redes Inalámbricas: Distribución de Puntos de Acceso y Canales en 802.11b. ITESM, Campus Ciudad de México. México, D.F. 2005
- [NNPA00] Neskovic, A; Neskovic, Natascha; Paunovic George. Modern Approaches in Modeling of Mobile Radio Systems Propagation Environment. IEEE Communications Surveys. Third Quarter 2000.
- [OLIV05] Oliva, Pau. IEEE 802.11n Next Generation WiFi. 3er Seminario Mataró Wireless. Abril de 2005.
- [PERE02] Peretz, M. Improving Audio/Video Quality of Service Over WLANs. Enero de 2002.

- [PERE05] Pérez, J. WLANs. Notas de Curso. ITESM, Campus Cuernavaca. Enero de 2005.
- [PERE06] Pérez, J; et all. Quality of Service Analysis of IPSec VPNs for Voice and Video Traffic. Artículo. ITESM, Campus Cuernavaca. 2006.
- [REID04] Reid, Neil y Seide, Ron. 802.11 (Wi-Fi) Manual de Redes Inalámbricas. Mc Graw Hill. México, 2004.
- [VEGE01] Vegesna, S. IP Quality of Service. Cisco Press. 2001.
- [WCLI05] Wang, W; Chang, S y Li, Victor. Solutions to Performance Problems in VoIP Over a 802.11 Wireless LAN. IEEE Transactions, Vol 14, No 1, Enero de 2005.
- [WIRE04] Wireless Voice Deployment. Cisco Systems. Networkers Solutions Forum 2004. Acapulco, México, Noviembre de 2004.

Referencias en el WEB.

- [AREF06] A Reference Guide to all Things VOIP. Asterisk. <http://www.voip-info.org> Fecha de consulta: Abril de 2006.
- [ADVE06] Advento Networks. Interferencia y Atenuación. <http://www.e-advento.com/tecnologia/interfyatenua.php> Fecha de consulta: Abril de 2006.
- [CHAN06] Chang, I. Protocols for QoS Support. Chao Yang University of Technology. www.cyut.edu.tw/~icchang Fecha de consulta: Agosto de 2006.
- [COMU06] Comunidad VoIP. http://www.rydsa.com.ar/comunidad_voip.htm Fecha de consulta: Marzo de 2006.
- [ESTA05] Estándares WLAN. Jalercom. <http://www.jarelcom.com> Fecha de consulta: Octubre de 2005.
- [INTE06] International Communication Union. <http://www.itu.int> Fecha de consulta: Febrero de 2006.
- [KAPP02] Kapp, Steve. 802.11a More Bandwidth without the Wires. IEEE Internet Computing. 2002. <http://computer.org/internet/> Fecha de consulta: Diciembre de 2005.
- [LANU05] 802.11e, La Nueva Especificación Inalámbrica. www.faq-mac.com Fecha de publicación: Octubre de 2005.

- [LUTH06] Luther, Jörg. El Alfabeto 802.11. Una Guía de los Estándares Inalámbricos. www.linux-magazine.es Fecha de consulta: Abril de 2006.
- [MART01] Martínez, E. Comienza el Boom del Internet Inalámbrico. Publicado en la Revista Red con fecha de Enero de 2001. <http://www.eveliux.com/>
- [MART04] Martínez, E. Planeación y Diseño de Redes WLAN. Publicado en la Revista Red con fecha de Agosto de 2004. <http://www.eveliux.com/>
- [VALD06] Valdiosera, C. WiMax y la Expansión Inalámbrica. Periódico La Jornada. México, DF. <http://www.jornada.unam.mx/2006/02/02/033a1tec.php> Fecha de consulta: Marzo de 2006.
- [VOIP06] VoIPForo.com <http://www.voipforo.com> Fecha de consulta: Marzo de 2006.
- [VOZD06] VozDigital.org <http://www.vozdigital.org> Fecha de consulta: Marzo de 2006.
- [WILD05] 802.11 WLAN Packets and Protocols. WildPackets. <http://www.wildpackets.com/> Fecha de consulta: Diciembre de 2005.
- [WIKI06] Wikipedia. La Enciclopedia Libre. <http://es.wikipedia.org/> Fecha de consulta: Marzo de 2006.

Anexo A

Guía de la Prueba

Números IP de los AP (verificar la conectividad con ping) y Extensiones.

- a. Access Point Pasillo-Tenis 192.168.1.1
- b. Access Point Canchas-Football 192.168.1.2
- c. Access Point Pasillo-Edificio 192.168.1.3
- d. Access Point Canchas-Tenis 192.168.1.4
- e. Servidor Asterisk 192.168.1.5
- f. Servidor de Archivos 192.168.1.6

Prueba 0 descarga de archivos para medir AB y SNR.

- a. Realizar las descargas con el estándar 802.11b y luego con el 802.11g
- b. Las descargas con el estándar 802.11b se harán en las distancias de: 10, 15, 20, 30, 40 y 48m.
- c. Las descargas con el estándar 802.11g se harán en las distancias de: 10, 15, 20, 27, 29, 30, 42 y 54m.
- d. Los datos se registrarán en la hoja anexa.
- e. Activar Network Stumbler y Net Meter
- f. En la ventana del Explorer acceder a la Laptop servidor <http://daniel/xochitepec/>
- g. En el Net Meter botón derecho *Stopwatch* y seleccionar Start (al momento de empezar la descarga) y darle stop al momento de terminar la descarga (guardar los datos del Net Meter)
- h. Descargar el archivo de 15 MB y guardar los datos de la pantalla final de la descarga que arroja Windows.
- i. Guardar los datos del Network Stumbler

1) Prueba 1 Estándar 802.11b con Codec g711u.

- a) Activar el *Stopwatch* del Net Meter (con F4 sobre el Net Meter) (para determinar la tasa promedio)
- b) Posición: Junto al AP *** Establecer las llamadas. *** Registrar valores en la hoja anexa.
- c) Moverse a 27m mantener llamada *** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa.
- d) Moverse a 48m mantener llamada *** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa.
- e) Moverse a 54m mantener llamada ** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa.
- f) Se activa el UDPFlood (en cuatro máquinas, ya designadas)**
 - g) Quedarse en los 54 m ** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa
 - h) Moverse a 48m mantener llamada ** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa.
 - i) Moverse a 27m mantener llamada ** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa.
 - j) Moverse junto AP mantener llamada ** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa.
 - k) Detener llamadas

2) Prueba 2 Estándar 802.11b con Codec gsm.

- a) Activar el *Stopwatch* del Net Meter (con F4 sobre el Net Meter) (para determinar la tasa promedio)
- b) Posición: Junto al AP *** Establecer las llamadas. *** Registrar valores en la hoja anexa.
- c) Moverse a 27m mantener llamada *** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa.
- d) Moverse a 48m mantener llamada *** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa.
- e) Moverse a 54m mantener llamada ** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa.
- f) **Se activa el UDPFlood (en cuatro máquinas, ya designadas)**
- g) Quedarse en los 54 m ** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa
- h) Moverse a 48m mantener llamada ** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa.
- i) Moverse a 27m mantener llamada ** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa.
- j) Moverse junto AP mantener llamada ** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa.
- k) Detener llamadas

Valores de UDPFlood 802.11b

Marca	Distancia	Valor Mínimo	Valor Máximo
Cisco	Junto AP	1,000	999999
Cisco	27 m	1000	9999
Cisco	48 m	1000	9999
Cisco	54 m	1000	9999
3Com	Junto AP	1000	999999
3Com	27 m	1000	9999
3Com	48 m	100	999
3Com	54 m	100	999

Nota: Los valores mínimo y máximo están dados en bytes.

3) Prueba 3 Estándar 802.11g con Codec g711u.

- a) Activar el *Stopwatch* del Net Meter (con F4 sobre el Net Meter) (para determinar la tasa promedio)
- b) Posición: Junto al AP *** Establecer las llamadas. *** Registrar valores en la hoja anexa.
- c) Moverse a 20m mantener llamada *** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa.
- d) Moverse a 30m mantener llamada *** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa.
- e) Moverse a 48m mantener llamada ** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa.
- f) **Se activa el UDPFlood (en cuatro máquinas, ya designadas)**
- g) Quedarse en los 48 m ** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa
- h) Moverse a 30m mantener llamada ** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa.

- i) Moverse a 20m mantener llamada ** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa.
- j) Moverse junto AP mantener llamada ** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa.
- k) Detener llamadas

4) Prueba 4 Estándar 802.11g con Codec gsm.

- a) Activar el *Stopwatch* del Net Meter (con F4 sobre el Net Meter) (para determinar la tasa promedio)
- b) Posición: Junto al AP *** Establecer las llamadas. *** Registrar valores en la hoja anexa.
- c) Moverse a 20m mantener llamada *** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa.
- d) Moverse a 30m mantener llamada *** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa.
- e) Moverse a 48m mantener llamada ** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa.
- f) Se activa el UDPFlood (en cuatro máquinas, ya designadas)**
- g) Quedarse en los 48 m ** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa
- h) Moverse a 30m mantener llamada ** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa.
- i) Moverse a 20m mantener llamada ** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa.
- j) Moverse junto AP mantener llamada ** Detener y reiniciar el *Stopwatch* *** Registrar valores en la hoja anexa.
- k) Detener llamadas

Valores de UDPFlood 802.11g

Marca	Distancia	Valor Mínimo	Valor Máximo
Cisco	Junto AP	1,000	10,000
Cisco	20 m	500	1,000
Cisco	30 m	500	1,000
Cisco	48 m	500	800
3Com	Junto AP	500	1,000
3Com	20 m	500	1,000
3Com	30 m	500	1,000
3Com	48 m	500	800

Nota: Los valores mínimo y máximo están dados en bytes.

Anexo B

Hoja de Calificación de las Pruebas

Calificación de las llamadas.

Características de la Laptop								
Marca	RAM	Procesador	Tarjeta Integrada		Lugar	Extensión	IP	Nombre
			Si	No			192.168.1.	

Estándar 802.11g																
Prueba 1 con Codec g711u																
Prueba/ Inciso	AP				Canal	Network Stumbler		Calidad de Llamada					Net Meter	Si se percibe otro AP con SNR > 10		Comentarios
						Speed	SNR prom						Average Rate	Canal	SNR	
1 C	1	2	3	4				1	2	3	4	5				
1 E								1	2	3	4	5				
1 H								1	2	3	4	5				
1 J								1	2	3	4	5				
1 M								1	2	3	4	5				
1 O								1	2	3	4	5				
1 R								1	2	3	4	5				
1 T								1	2	3	4	5				

Estándar 802.11g																
Prueba 2 con Codec gsm																
Prueba/ Inciso	AP				Canal	Network Stumbler		Calidad de Llamada					Net Meter	Si se percibe otro AP con SNR > 10		Comentarios
						Speed	SNR prom						Average Rate	Canal	SNR	
2 C	1	2	3	4				1	2	3	4	5				
2 E								1	2	3	4	5				
2 H								1	2	3	4	5				
2 J								1	2	3	4	5				
2 M								1	2	3	4	5				
2 O								1	2	3	4	5				
2 R								1	2	3	4	5				
2 T								1	2	3	4	5				

Estándar 802.11b																
Prueba 3 con Codec g711u																
Prueba/ Inciso	AP				Canal	Network Stumbler		Calidad de Llamada					Net Meter	Si se percibe otro AP con SNR > 10		Comentarios
						Speed	SNR prom						Average Rate	Canal	SNR	
3 C	1	2	3	4				1	2	3	4	5				
3 E								1	2	3	4	5				
3 H								1	2	3	4	5				
3 J								1	2	3	4	5				
3 M								1	2	3	4	5				
3 O								1	2	3	4	5				
3 R								1	2	3	4	5				
3 T								1	2	3	4	5				

Estándar 802.11b																
Prueba 4 con Codec gsm																
Prueba/ Inciso	AP				Canal	Network Stumbler		Calidad de Llamada					Net Meter	Si se percibe otro AP con SNR > 10		Comentarios
						Speed	SNR prom						Average Rate	Canal	SNR	
4 C	1	2	3	4				1	2	3	4	5				
4 E								1	2	3	4	5				
4 H								1	2	3	4	5				
4 J								1	2	3	4	5				
4 M								1	2	3	4	5				
4 O								1	2	3	4	5				
4 R								1	2	3	4	5				
4 T								1	2	3	4	5				

Registro de las transferencias de archivos.

802.11b	Sin Tráfico					
	Net Stumbler		Windows		Net Meter	
	Speed	SNR	Tiempo	TPW	Max	TPNM
Junto AP						
A 10 m						
A 15 m						
A 20 m						
A 30 m						
A 40 m						
A 48 m						

TPW = Tasa Promedio de Windows
 TPNM = Tasa Promedio de Net Meter

802.11b	Con Tráfico					
	Net Stumbler		Windows		Net Meter	
	Speed	SNR	Tiempo	TPW	Max	TPNM
Junto AP						
A 10 m						
A 15 m						
A 20 m						
A 30 m						
A 40 m						
A 48 m						

TPW = Tasa Promedio de Windows
 TPNM = Tasa Promedio de Net Meter

802.11g	Sin Tráfico					
	Net Stumbler		Windows		Net Meter	
	Speed	SNR	Tiempo	TPW	Max	TPNM
Junto AP						
A 10 m						
A 15 m						
A 20 m						
A 27 m						
A 29 m						
A 30 m						
A 42 m						
A 54 m						

TPW = Tasa Promedio de Windows
 TPNM = Tasa Promedio de Net Meter

802.11g	Con Tráfico					
	Net Stumbler		Windows		Net Meter	
	Speed	SNR	Tiempo	TPW	Max	TPNM
Junto AP						
A 10 m						
A 15 m						
A 20 m						
A 27 m						
A 29 m						
A 30 m						
A 42 m						
A 54 m						

TPW = Tasa Promedio de Windows
 TPNM = Tasa Promedio de Net Meter

Anexo C

Análisis de las Llamadas con los Puntos de Acceso Cisco

En este análisis se utilizan las siguientes siglas:

Es = Establecidas e = Excelente mb = Muy bien b = Bien ma = Mala
m = Metros R = Ruido C = Cortes I = Interferencia E = Eco

Estándar 802.11b, codec gsm, sin tráfico.

Lugar	Llamadas	MOS	SNR	Velocidad	Comentario
J AP	5 Es [3e, 1b, 1ma]	4	42	11	
A 20 m	4 Es [4mb]	4	21	11	R
A 30 m	4 Es [2mb, 1b, 1ma]	3.25	16	11	E, R
A 48 m	No se logró la conexión a la red, se obtuvo hasta los 45m.				

Estándar 802.11b, codec gsm, con tráfico.

Lugar	Llamadas	MOS	SNR	Velocidad	Comentario
J AP	4 Es [2e, 2b]	4	34	11	
A 20 m	4 Es [2mb, 2b]	3.5	27	11	Distante
A 30 m	3 Es [3b]	3	18	11	C, R
A 48 m	No se logró la conexión a la red, se obtuvo hasta los 45m.				

Estándar 802.11b, codec g711u, sin tráfico.

Lugar	Llamadas	MOS	SNR	Velocidad	Comentario
J AP	4 Es [4e]	4.5	33	11	
A 20 m	4 Es [4mb]	4	32	11	R
A 30 m	3 Es [3mb]	3.75	20	11	Poco volumen
A 48 m	No se logró la conexión a la red, se obtuvo hasta los 45m.				

Estándar 802.11b, codec g711u, con tráfico.

Lugar	Llamadas	MOS	SNR	Velocidad	Comentario
J AP	4 Es [3e, 1mb]	4.5	40	11	
A 20 m	4 Es [3mb, 1b]	3.75	31	11	C, R
A 30 m	2 Es [2mb]	3.25	22	11	R, E, C
A 48 m	No se logró la conexión a la red, se obtuvo hasta los 45m.				

En todas las llamadas hechas en el estándar 802.11b se logró la comunicación hasta los 45m, más allá de esta distancia se cortaba la señal de la red.

Estándar 802.11g, codec gsm, sin tráfico.

Lugar	Llamadas	MOS	SNR	Velocidad	Comentario
J AP	5 Es [4mb, 1ma]	4.2	49	54	
A 27 m	4 Es [4b]	3	34	24-18	R
A 48 m	4 Es [2b, 2ma]	2.8	26	12	I, C, R
A 54 m	4 Es [4ma]	1.4	10	11-2	C

Estándar 802.11g, codec gsm, con tráfico.

Lugar	Llamadas	MOS	SNR	Velocidad	Comentario
J AP	5 Es [4mb, 1ma]	4.2	42	54	
A 27 m	4 Es [3b, 1ma]	2.8	28	24-18	I, R, C
A 48 m	4 Es [4ma]	2	25	12	I, R
A 54 m	4 Es [4ma]	1	10.5	11-2	I, C

Estándar 802.11g, codec g711u, sin tráfico.

Lugar	Llamadas	MOS	SNR	Velocidad	Comentario
J AP	5 Es [5e]	4.7	44	54	
A 27 m	5 Es [4b, 1ma]	4	29	24-18	C, R
A 48 m	3 Es [3b]	3	17	12	I, C
A 54 m	4 Es [4ma]	2	14	11-2	

Estándar 802.11g, codec g711u, con tráfico.

Lugar	Llamadas	MOS	SNR	Velocidad	Comentario
J AP	5 Es [5e]	4.6	37	54	
A 27 m	4 Es [4b]	3	23	24-18	C, R
A 48 m	4 Es [3b, 1ma]	2.8	17	12	R
A 54 m	4 Es [1b, 3ma]	1.6	14	11-2	I

Anexo D

Análisis de las Llamadas con los Puntos de Acceso 3COM

En este análisis se utilizan las siguientes siglas:

Es = Establecidas e = Excelente mb = Muy bien b = Bien ma = Mala
 m = Metros R = Ruido C = Cortes I = Interferencia E = Eco

Estándar 802.11b, codec gsm, sin tráfico.

Lugar	Llamadas	MOS	SNR	Velocidad	Comentario
J AP	4 Es [3e, 1b]	4.75	46	11	
A 20 m	4 Es [2mb, 2b]	3.75	12	11 a 6	R, C, E
A 30 m	2 Es [2b]	2.67	9	6 a 2	C, R
A 48 m	No se logró la conexión a la red, se obtuvo hasta los 45m.				

Estándar 802.11b, codec gsm, con tráfico.

Lugar	Llamadas	MOS	SNR	Velocidad	Comentario
J AP	4 Es [3e, 1mb]	4	47	11	
A 20 m	4 Es [2mb, 2b]	3.5	18	11 a 6	R, C
A 30 m	2 Es [2b]	2.67	15	6 a 2	C
A 48 m	No se logró la conexión a la red, se obtuvo hasta los 45m.				

Estándar 802.11b, codec g711u, sin tráfico.

Lugar	Llamadas	MOS	SNR	Velocidad	Comentario
J AP	4 Es [3e, 1mb]	4	26	11	
A 20 m	4 Es [4mb]	4	20	11 a 6	C, R
A 30 m	2 Es [2b]	3	10	6 a 2	R, C
A 48 m	No se logró la conexión a la red, se obtuvo hasta los 45m.				

Estándar 802.11b, codec g711u, con tráfico.

Lugar	Llamadas	MOS	SNR	Velocidad	Comentario
J AP	4 Es [3e, 1mb]	4	31	11	
A 20 m	4 Es [2mb, 2b]	3.5	20	11 a 6	C, R
A 30 m	2 Es [2b]	3	12	6 a 2	R
A 48 m	No se logró la conexión a la red, se obtuvo hasta los 45m.				

En todas las llamadas hechas en el estándar 802.11b se logró la comunicación hasta los 45m, más allá de esta distancia se cortaba la señal de la red.

Estándar 802.11g, codec gsm, sin tráfico.

Lugar	Llamadas	MOS	SNR	Velocidad	Comentario
J AP	4 Es [3mb, 1ma]	3.2	45	54-24	
A 27 m	4 Es [1b, 3ma]	2.4	25	11	R, C
A 48 m	2 Es [2ma]	2	13	5.5-2	I, C, R
A 54 m	1 Es [1ma]	1.1	9	5.5-1	C

Estándar 802.11g, codec gsm, con tráfico.

Lugar	Llamadas	MOS	SNR	Velocidad	Comentario
J AP	4 Es [2mb, 2ma]	2.2	40	54-24	
A 27 m	2 Es [2ma]	2.2	23	11-5.5	I, R, C
A 48 m	2 Es [2ma]	1.5	16	5.5-2	I, R
A 54 m	1 Es [1ma]	1	9.4	5.5-1	I, C

Estándar 802.11g, codec g711u, sin tráfico.

Lugar	Llamadas	MOS	SNR	Velocidad	Comentario
J AP	3 Es [3e]	3.8	36	56-24	
A 27 m	3 Es [1b, 2ma]	2.5	20	36-2	C, R
A 48 m	2 Es [2ma]	2	13	18-5	I, C
A 54 m	1 Es [1ma]	1	8	11-1	

Estándar 802.11g, codec g711u, con tráfico.

Lugar	Llamadas	MOS	SNR	Velocidad	Comentario
J AP	3 Es [3e]	3.8	35	36-24	
A 27 m	2 Es [2ma]	1.8	20	18-1	C, R
A 48 m	2 Es [2ma]	1.6	15	11-5.5	R
A 54 m	0 Es	1	7.5	11-1	I

Anexo E

Explicación de la forma de Garantizar como Máximo un 45% de Utilización del Canal de un Punto de Acceso

En este anexo se detalla el experimento realizado para garantizar como máximo un 45% de utilización del canal de un punto de acceso.

Procedimiento.

En esta prueba se realizaron transferencias de archivos entre un servidor de archivos Apache y los clientes, primero sin tráfico y posteriormente se le anexó tráfico a la red empleando el software UDPFlood, con valores de tráfico que se fueron evaluando durante la transmisión de los archivos, para así encontrar un equilibrio y obtener el 45% de utilización del canal de un punto de acceso que era lo que se buscaba. Esto fue realizado con el objetivo de inundar el canal de un punto de acceso hasta el 45% que es el valor aceptable que propone la teoría, se llevó a cabo de esta forma ya que no todos los puntos de acceso utilizados en el experimento tenían funcionalidades de QoS.

Resultados.

En el caso del estándar 802.11b se obtuvieron los siguientes valores:

En cuanto a los puntos de acceso Cisco, la tasa promedio de transferencia sin tráfico fue de 370.56 KB/s siendo la tasa máxima alcanzada de 591.96 KB/s. Para el caso del tráfico se obtuvo una tasa promedio de transferencia de 277.51 KB/s siendo la tasa máxima alcanzada de 410.9 KB/s. La cantidad de paquetes inyectados a la red fue de 1000 bytes como paquete mínimo y 10000 bytes como paquete máximo cuando el cliente se encontraba de 0 a 10 m del punto de acceso y se le inyectaron paquetes de 500 bytes como paquete mínimo y 1000 bytes como paquete máximo cuando el cliente se encontraba después de 10m y hasta los 30 m del punto de acceso, y por último se inyectaron paquetes entre 500 y 800 bytes después de los 30m y hasta los 48m.

En cuanto a los puntos de acceso 3Com, la tasa promedio de transferencia sin tráfico fue de 362.44 KB/s siendo la tasa máxima alcanzada de 579.8 KB/s. Para el caso del tráfico se obtuvo una tasa promedio de transferencia de 273.11 KB/s siendo la tasa máxima alcanzada de 401.4 KB/s. La cantidad de paquetes inyectados a la red fue de 500 bytes como paquete mínimo y 1000 bytes como paquete máximo cuando el cliente se encontraba de 0 a 40 m del punto de acceso y se le inyectaron paquetes de 500 bytes como paquete mínimo y 800 bytes como paquete máximo cuando el cliente se encontraba después de 40m y hasta los 48 m.

Por último para el caso de los puntos de acceso Proxim, no se logró determinar el valor del 45% de utilización del canal, dado que para el caso de sin tráfico sólo se lograron transmisiones completas hasta los 40m y con tráfico sólo se logró la transmisión completa hasta los 30m por lo que no se pudo encontrar un equilibrio.

En el caso del estándar 802.11g se obtuvieron los siguientes valores:

En cuanto a los puntos de acceso Cisco, la tasa promedio de transferencia sin tráfico fue de 460.03 KB/s siendo la tasa máxima alcanzada de 823.36 KB/s. Para el caso del tráfico se obtuvo una tasa promedio de transferencia de 319.31 KB/s siendo la tasa máxima alcanzada de 589 KB/s. La cantidad de paquetes inyectados a la red fue de 1000 bytes como paquete mínimo y 999999 bytes como paquete máximo cuando el cliente se encontraba de 0 a 15 m del punto de acceso y se le inyectaron paquetes de 1000 bytes como paquete mínimo y 9999 bytes como paquete máximo cuando el cliente se encontraba después de 15m y hasta los 54 m del punto de acceso, distancias que eran las buscadas en este estándar.

En cuanto a los puntos de acceso 3Com, la tasa promedio de transferencia sin tráfico fue de 468.25 KB/s siendo la tasa máxima alcanzada de 1012 KB/s. Para el caso del tráfico se obtuvo una tasa promedio de transferencia de 355.44 KB/s siendo la tasa máxima alcanzada de 832 KB/s. La cantidad de paquetes inyectados a la red fue de 1000 bytes como paquete mínimo y 999999 bytes como paquete máximo cuando el cliente se encontraba de 0 a 10 m del punto de acceso y se le inyectaron paquetes de 1000 bytes como paquete mínimo y 9999 bytes como paquete máximo cuando el cliente se encontraba después de 10m y hasta los 27 m del punto de acceso, después de los 27m la cantidad de tráfico que se inyectó estaba entre los 100 y 999 bytes.

Por último para el caso de los puntos de acceso Proxim, no se logró determinar el valor del 45% de utilización del canal, dado que para el caso de sin tráfico sólo se lograron transmisiones completas hasta los 27m y con tráfico sólo se logró la transmisión completa hasta los 15m.