

**PROTOTIPO EXPERIMENTAL DE VOIP SOBRE WLAN PARA ENTORNOS
EMPRESARIALES**



**MÓNICA ADRIANA LOMBANA ECHEVERRI
JUAN CARLOS GONZÁLEZ DÍAZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES
GRUPO I+D NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TELECOMUNICACIONES
POPAYÁN
2005**

**PROTOTIPO EXPERIMENTAL DE VOIP SOBRE WLAN PARA ENTORNOS
EMPRESARIALES**



**MÓNICA ADRIANA LOMBANA ECHEVERRI
JUAN CARLOS GONZÁLEZ DÍAZ**

Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de Ingeniero en
Electrónica y Telecomunicaciones

**Director
Ing. Esp. GUEFRY LEIDER AGREDO MÉNDEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES
GRUPO I+D NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TELECOMUNICACIONES
POPAYÁN
2005**

A mis padres por su inmenso amor y
apoyo incondicional en la consecución
de todas mis metas.

A mis hermanos, por ser mi ejemplo,
soporte, orgullo y motivación.

A Juan por el cariño y comprensión
que nos ha acompañado todo
este tiempo.

Mónica

A mis padres por su
amor incondicional y constante
apoyo para alcanzar mis metas.

A mi hermano a quien admiro
por ser un gran ejemplo.

A Mónica con quien he compartido
momentos maravillosos.

Juan Carlos

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Guefry Agredo Méndez, Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones y director de este trabajo de grado por sus valiosas y constantes orientaciones.

Virginia Solarte y Harold Romo, Ingenieros en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca, por su disposición y Colaboración.

Nuestros amigos, por brindarnos su compañía y colaboración durante todo este tiempo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCION	9
1. VOIP EN REDES WLAN	17
1.1 Consideraciones Importantes de VoIP	17
1.1.1 Retardo/Latencia:	17
1.1.2 Fluctuación de fase (Jitter):	21
1.1.3 Compresión de la voz	23
1.1.4 Nota Media de Opinión (MOS)	25
1.1.5 Eco	26
1.1.6 Pérdida de paquetes	27
1.1.7 Encapsulamiento de VoIP	28
1.1.8 Capacidad empresarial	31
1.2 Consideraciones Importantes de WLAN	34
1.2.1 Rendimiento de los puntos de acceso de WLAN (AP)	35
1.2.2 Seguridad.	36
1.3 Consideraciones Importantes de VoWLAN	37
1.3.1 Retardo del tiempo de acceso	37
1.3.3 Micromovilidad y Macromovilidad	41
1.3.4 Interfaces de red, integración y arquitectura	43
2. CRITERIOS DE PLANEACIÓN, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE VOIP SOBRE WLAN	46
2.1 Nivel Físico: Planeamiento RF	46
2.1.1 Entorno Empresarial	46
2.1.2 Entorno SOHO	51
2.2 Nivel de Enlace de Datos	54
2.3 Nivel de Red	54
2.4 Protocolo de Señalización SIP	55
3. PROTOTIPO PARA EL ENTORNO EMPRESARIAL	65
3.1 Definición del escenario empresarial	66
3.1.1 Escenario espacial	66
3.1.2 Escenario tiempo	67
3.1.3 Descripción de los usuarios	69
3.1.4 Planeamiento por AP	69
3.1.5 Modelo de trabajo	70
3.1.6 Medidas indicadoras del rendimiento	70

3.2	Plan RF	71
3.3	Descripción del Montaje	72
3.4	Descripción de los elementos del sistema	79
3.4.1	Servidor de telefonía IP	79
3.4.2	Clientes Móviles de VoIP	82
3.4.3	Generadores de tráfico	83
3.5	Pruebas y Toma de Medidas	84
3.5.1	Capacidad del AP	85
3.5.2	Capacidad del AP con tráfico de Background	87
3.5.3	Prueba de Micromovilidad	88
3.6	Validación del Prototipo	91
3.6.1	Plan de numeración empresarial (extensiones)	91
3.6.2	Llamada entre terminales al interior de la red empresarial	93
3.6.3	Llamada de terminales móviles a otros terminales fijos	93
3.6.4	Llamada de terminales móviles a otros terminales móviles	93
3.6.5	Llamada a la RTPC	94
3.6.6	Llamadas al interior de la empresa	94
3.6.7	Llamada en espera	94
3.6.8	Desvío de llamadas	94
3.6.9	Transferencia de llamada	94
3.6.10	Buzón de voz	95
3.7	Criterios Teóricos para la Extensión del Servicio Telefónico	95
3.7.1	Parámetros de diseño:	96
3.7.2	Selección de la tecnología de interconexión	98
3.7.3	Selección de las antenas	99
3.7.4	Amplificadores	100
3.7.5	Selección de la(s) pasarela(s)	100
3.7.6	Acceso a los servicios de telefonía	100
3.7.7	Configuración de la comunicación entre servidores de Voz sobre IP (IAX)	101
3.7.8	Tarificación	103
3.7.7	QoS	101
3.7.8	Diseño Final	102
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	106
5.	BIBLIOGRAFIA	112
ANEXO A: Ingeniería de Tráfico		
ANEXO B: Montaje del Sistema		
ANEXO C: Seguridad de Wlan		
ANEXO D: QoS a Nivel De Enlace De Datos		
ANEXO E: QoS a Nivel De Red		

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Eficiencia: sobrecarga vs duración del paquete	29
Tabla 2.	Características relacionadas con los códecs	30
Tabla 3.	Efectos del tamaño de carga útil en los requerimientos de ancho de banda	34
Tabla 4.	Tasas de rendimiento para HCF y DCF/EDCF para diferentes modulaciones	36
Tabla 5.	Especificación de retardo G.131	38
Tabla 6.	Medidas de VoIP en una red inalámbrica red empresarial extensa	38
Tabla 7.	Relación entre canales y frecuencias usados en el prototipo	72
Tabla 8.	Comparación entre el prototipo ideal y el realizado	79
Tabla 9.	Comparación entre servidores de telefonía IP	79
Tabla 10.	Contexto de llamadas, por defecto (solo telefonía VoIP)	92
Tabla 11.	Contexto de llamada, para entrada de llamadas	93
Tabla 12.	Comparación entre WME y WSM	110
Tabla 13.	Implementaciones QoS	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Prueba de retardos en la red de Unicauca	19
Figura 2.	Retardo de extremo a extremo	21
Figura 3.	Fluctuación de fase	22
Figura 4.	Pérdida de paquete con G.729	28
Figura 5.	Encapsulamiento de VoIP IPv4 e IPv6	29
Figura 6.	Retardos inducidos en VoWLAN	38
Figura 7.	Trayecto de retardo SOHO/Residencial	39
Figura 8.	Micromovilidad y Macromovilidad	42
Figura 9.	Desarrollo empresarial	44
Figura 10.	Espectro red inalámbrica a 2.4 Ghz	48
Figura 11.	Frecuencia de reuso con 802.11b/g (2.4 GHz) y 3 canales sin traslape	49
Figura 12.	Diferencia del espectro disponible entre 2.4 GHz y 5GHz	49
Figura 13.	Reutilización de frecuencia mejorada con 802.11a a 5 GHz	50
Figura 14.	Configuración modo de frecuencia única de operación	53
Figura 15.	Configuración modo de frecuencia dual	54
Figura 16.	SIP en la pila de protocolos	56
Figura 17.	Comunicación SIP	61
Figura 18.	Movilidad en una red SIP	63
Figura 19.	Micromovilidad basada en SIP	64
Figura 20.	Distribución de APs	71

Figura 21.	Prototipo Experimental ÓPTIMO de VoWLAN para Entornos Empresariales	74
Figura 22.	Prototipo Experimental VoWLAN para Entornos Empresariales	75
Figura 23.	Cálculo de líneas necesarias para el tráfico saliente con diferentes valores de bloqueo de llamadas	78
Figura 24.	Montaje para medir la capacidad total del AP	85
Figura 25.	Prueba de micro movilidad	89
Figura 26.	Transferencia de llamada	95
Figura 27.	Ancho de banda necesario para un tráfico de 15 Erlangs para diferentes códecs	97
Figura 28.	Número de líneas necesarias para un tráfico de 15 Erlangs	98
Figura 29.	Extensión del servicio telefónico	107

ACRÓNIMOS

- CCITT** Consultative Committee for International Telegraph and Telephone (Comité Consultivo Internacional de Telefonía y Telegrafía)
- CTI** Computer Telephony Integration (Integración Ordenador- Telefonía)
- DiffServ** Differentiated Services Internet QoS model (Modelo de Calidad de Servicio en Internet basado en Servicios Diferenciados)
- DNS** Domain Name System (Sistema de Nombres de Dominio)
- ENUM** Telephone Number Mapping (Integración de Números de Teléfono en DNS)
- H.323** Estándar de la ITU-T para voz y videoconferencia interactiva en tiempo real en redes de área local, LAN, e Internet.
- IETF** Internet Engineering Task Force (Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet)
- IGMP** Internet Group Management Protocol (Protocolo de Gestión de Grupos en Internet)
- IntServ** Integrated Services Internet QoS model (Modelo de Calidad de Servicio en Servicios Integrados de Internet)
- IP** Internet Protocol (Protocolo Internet)
- IPBX** Internet Protocol Private Branch Exchange (Centralita Privada basada en IP)
- IPSec** IP Security (Protocolo de Seguridad IP)
- ISDN** Integrated Services Data Network (Red Digital de Servicios Integrados, RDSI)
- ISP** Internet Service Provider (Proveedor de Servicios Internet, PSI)
- ITSP** Internet Telephony Service Provider (Proveedor de Servicios de Telefonía Internet, PSTI)
- ITU-T** International Telecommunications Union - Telecommunications (Unión Internacional de Telecomunicaciones)
- MCU** Multipoint Control Unit (Unidad de Control Multipunto)
- MEGACO** Media Gateway Control (Control de Pasarela de Medios)
- MGCP** Media Gateway Control Protocol (Protocolo de Control de Pasarela de Medios)
- MOS** Mean Opinion Score (Nota Media de Resultado de Opinión)
- OLR** Overall Loudness Rating (Índice de Sonoridad Global)

PBX Private Branch Exchange (Centralita Telefónica Privada)
POTS Plain Old Telephone Service (Servicio Telefónico Tradicional)
PPP Point to Point Protocol (Protocolo Punto a Punto)
PSTN Public Switched Telephone Network (Red de Telefonía Conmutada Pública)
QoS Quality of Service (Calidad de Servicio)
RAS Registration, Authentication and Status (Registro, Autenticación y Estado)
RSVP Reservation Protocol (Protocolo de Reserva)
RTCP Real Time Control Protocol (Protocolo de Control de Tiempo Real)
RTP Real Time Protocol (Protocolo de Tiempo Real)
RTPC Red de telefonía Pública Conmutada
SDP Session Description Protocol (Protocolo de Descripción de Sesión)
SIP Session Initiation Protocol (Protocolo de Inicio de Sesión)
SS7 Signalling System Number 7 (Sistemas de Señales número 7)
TCP Transmission Control Protocol (Protocolo de Control de Transmisión)
TDM Time Division Multiplexing (Multiplexado por División de Tiempo)
UDP User Datagram Protocol (Protocolo de Datagramas de Usuario)
VLAN Virtual Local Area Network (Red de Área Local Virtual)
VOIP Voice Over IP (Voz sobre IP)
VPN Virtual Private Network (Red Privada Virtual)
WLAN Wireless Local Area Network (Red Inalámbrica de Area Local)

INTRODUCCIÓN

El presente documento enseña el procedimiento adecuado para realizar el diseño e implementación de un prototipo experimental de VoIP sobre WLAN en un entorno empresarial con el objeto de identificar y estudiar todos los problemas que dicha tecnología trae consigo. Últimamente VoWLAN ha tenido especial atención por las empresas más importantes en telecomunicaciones (tales como Cisco, Nortel, entre otras), pues se piensa que en un futuro no muy lejano la telefonía basada en redes inalámbricas (WLAN) es viable como una alternativa para las redes celulares. Esto es muy lógico si se observa a empresas como T-mobile, que han inundado las principales ciudades de Europa con hotspots, como una posible red VoWLAN.

Si se analizan por aparte cada una de las tecnologías que se involucran en VoWLAN se puede percibir un poco mejor el estado del arte actual, el despliegue comercial y las bondades para soportar y apoyar las implementaciones donde se involucran.

Primero tenemos todas las ventajas de la tecnología inalámbrica WLAN como lo son la movilidad, la disponibilidad de conexión en cualquier lugar y momento, la dinámica de instalación y la amplia cobertura entre muchas otras. Todas estas potencialidades le han permitido a esta tecnología una gran aceptación en el mercado; el ambiente colmando de ondas producidas por estos dispositivos inalámbricos está saturando ciudades, edificios, fábricas, restaurantes, etc. Es así como día a día nacen nuevas aplicaciones para esta tecnología, que antes que nada facilita la vida de sus usuarios proveyéndoles comodidad, movilidad y conexión permanente. Empresas como T-mobile inundan las principales ciudades de Europa, facilitando el acceso a Internet con puntos de acceso inalámbrico en restaurantes y sitios públicos, actualmente se ofrecen paquetes que permiten a sus usuarios acceso a Internet en todo momento. En el ámbito nacional, se puede observar el aporte de Avantel, quien empieza a cubrir el territorio Colombiano con APs inalámbricos; ejemplarizando de esta manera el peso social y tecnológico que ha impuesto Wi-Fi.

Se puede decir que el 2004 fue el año de las tecnologías inalámbricas 802.11. Si bien, ésta ha tenido desde sus comienzos una gran acogida, se mostraba un aspecto que impedía su total aceptación: La seguridad. En junio del 2004 fue ratificado el estándar 802.11i, permitiendo hacer implementaciones más seguras. Este hecho incremento el interés de las empresas en esta tecnología, acelerando su desarrollo, y es así como aplicaciones como VoIP sobre redes WLAN toman fuerza.

En segundo lugar tenemos VoIP, que en el ámbito empresarial se convirtió en una alternativa que familiarizó a las empresas con la economía y calidad de las comunicaciones a distancia. La gran acogida del mercado de VoIP se soporta con adelantos como los hechos por AT&T, una de las empresas más grandes en telecomunicaciones a nivel mundial, quien anunció su migración a VoIP desde el año pasado; así mismo, empresas como Nortel están enfocando todos sus esfuerzos para hacerle frente a la implementación de estos sistemas contando con varios productos compitiendo en el mercado. En el ámbito nacional ETB y EPM, entre otros operadores están ofreciendo sus servicios de telefonía de larga distancia con VoIP, a una tarifa más económica, asegurando una calidad igual a la obtenida en la telefonía convencional. La aceptación de VoIP esta basada en que esta tecnología funciona y muchos de sus problemas identificados han sido resueltos a cabalidad, incluso existen productos VoIP actualmente que superan en calidad de la voz a la Red Telefónica Publica Conmutada (RTPC)¹.

A nivel empresarial, aparentemente, está resuelto el problema de comunicación con la adopción de sistemas de telefonía IP, usada para tráfico telefónico interno y más aún para comunicaciones con otras dependencias a distancia. Sin embargo, se identifica un problema relacionado con la movilidad la cual se ha visto afectada por los actuales sistemas de VoIP que han sido implementados sobre redes cableadas y terminales estáticas.

En la dinámica actual de las empresas, hospitales, campos universitarios, aeropuertos, centros comerciales, fábricas (citando algunos campos de acción) se hace necesaria la

¹ IT Manager, Volumen 3 Número 46 página 15. 3COM en la próxima generación de teléfonos IP.

movilidad de sus integrantes, pero la disponibilidad de dichas personas se limita al instante en que se encuentre en su puesto de trabajo (oficina). Localizar un empleado para la toma de una decisión que no da espera es muy importante, una llamada usando la red interna no sería posible si se desconoce su ubicación; situaciones como éstas son las que soluciona el mundo inalámbrico brindando comunicaciones móviles por medio de dispositivos habilitados con una tarjeta de red Wi-Fi, tales como “*handhelds*”, teléfonos Wi-Fi o “*pocket pc*”. El usuario puede tener una conexión de voz permanente dentro de todas las zonas de cobertura habilitadas por una entidad, incluso en diferentes ciudades para el caso de empresas con seccionales en varias regiones del país. Una necesidad concreta se presenta en los hospitales cuando hay una emergencia y dos individuos deben interactuar en tiempo real para dar solución a situaciones de vida o muerte. Más aún cuando en algunos recintos médicos no se permite el uso de celulares.

Desde este punto de vista, integrando VoIP con WLAN se tienen las ventajas del primero unido a la movilidad y accesibilidad de la segunda, lo cual favorecerá la labor de trabajadores que tienen que estar en constante movimiento, en lugares de difícil acceso, así como en campos abiertos.

Ahora se están integrando las dos tecnologías, VoIP y WLAN, bajo el esquema VoWLAN, el problema es que las redes WLAN no fueron diseñadas para cursar en ellas tráfico de voz. Para poder brindar telefonía en este tipo de redes es necesario darle un tratamiento especial a los paquetes de voz para evitar así retardos en la comunicación. Cuando un usuario móvil cambia del área de cobertura de un punto de acceso a otra, se presentan retardos debido al proceso de handoff. Estos son algunos de los problemas que involucra la telefonía sobre WLAN. No existe actualmente un estudio ni una guía de cómo se puede trabajar con VoWLAN en el cual se consideren este tipo de problemas. Esto es lo que se presenta en este trabajo de grado denominado “Prototipo experimental de VoIP sobre WLAN para entornos empresariales”.

En este momento existen empresas, como Cisco, Spectralink o Meru Networks, que se encuentran realizando estudios acerca de VoWLAN, desarrollando productos finales muy costosos y bajo un esquema de sistema propietario, en el cual los clientes se vuelven

dependientes de estas, cerrándose a la posibilidad de integración con otros productos nuevos. Muy conciente de lo anterior, se presenta este trabajo de grado, el cual quiere brindar una solución basada en estándares internacionales, que no obligue a quienes implanten este sistema a utilizar elementos de red especiales, sino que en vez de ello, sean libres de comparar las opciones que presenta el mercado. Además se trabajará con software libre, en cuanto sea posible, permitiendo así una implementación de bajo costo.

Este prototipo experimental de VoWLAN se presenta como una solución a situaciones reales. Se diferencian dos escenarios planteados inicialmente, el entorno empresarial y el entorno rural. El primer sistema mencionado busca dar servicio de telefonía en la Intranet de manera que los usuarios de una empresa se puedan comunicar entre ellos por medio de VoIP, sin el inconveniente de limitar una comunicación entre dos terminales estáticas. A su vez los usuarios de la empresa pueden hacer llamadas a la RTPC mediante la implementación de una pasarela y gozar de los servicios agregados comunes en una PBX, como lo son: buzón de voz, desvío de llamadas, llamada en espera, así como un plan de numeración que evite al usuario memorizar las direcciones de los equipos con quienes comunicarse.

Como solución a una necesidad particular de las empresas telefónicas que no pueden ofrecer los servicios de telefonía en lugares alejados, se contempla el segundo escenario, que propone un enlace inalámbrico entre dos puntos, que garantizará una conexión económica y de rápida instalación cumpliendo así con la cobertura del servicio en nuevos barrios o regiones rurales.

La investigación y competencia presente actualmente en torno a esta tecnología (VoWLAN), ha permitido que el precio de los productos baje e incluso se tenga acceso a drivers y APs implementados con código abierto, facilitando esto de alguna manera las implementaciones de bajo costo y en este caso la investigación.

De la próxima generación de redes inalámbricas de alta velocidad, se espera que soporte audio y video en tiempo real y aplicaciones interactivas así como los servicios típicos del mejor esfuerzo. Sin embargo, las WLAN actuales fueron desarrolladas como una

extensión de las convencionales LANs cableadas, diseñadas para servicios de datos.

La Universidad del Cauca se ha ocupado de estas tecnologías, por medio de trabajos de grado y electivas, realizando desarrollos y creando guías para el correcto uso de estas. Actualmente se tienen los resultados del proyecto de grado “Análisis y diseño de una red inalámbrica bajo las normas IEEE 802.11(x) para el campus de Ingenierías – sector Tulcán”, que junto con el presente proyecto, darán lugar a una posible implementación y uso interno en la Universidad del Cauca, trayendo beneficios a todos los estudiantes, profesores y planta directiva de la misma. Así mismo el Grupo de Investigación de Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones (GNTT) investiga y desarrolla proyectos que involucran ampliamente estas tecnologías. Entre los proyectos que se están realizando actualmente se cuentan trabajos de grado enfocados a mejorar el firmware de los AP, estudiar el uso de las tecnologías inalámbricas que trabajan en las bandas libres en enlaces de amplia cobertura, dar acceso a Internet a los estudiantes y profesores de la Universidad del Cauca con WLAN.

Finalmente, una de las claves de la próxima generación del mundo inalámbrico será Voz sobre protocolo de Internet (IP) usando redes de área local inalámbricas (WLAN).

1. VOIP EN REDES WLAN

El primer paso para diseñar el prototipo experimental de VoIP sobre WLAN (Redes Inalámbricas) para entornos empresariales, es analizar cada uno de los factores que afectan el rendimiento total del sistema, así como la capacidad que debe ser soportada.

Este capítulo expone muchos de los problemas a los que se enfrenta VoWLAN y las maneras propuestas para darle una solución viable. Cada una de las tecnologías involucradas tiene aspectos que afectan la calidad de la comunicación en general. Es por ello que se debe analizar cada una de estas tecnologías para luego hacerlo con la suma de los errores que estas dos generan.

1.1 *Consideraciones Importantes de VoIP*

VoIP ha tenido un gran despliegue en los últimos años dejando de ser una opción para volverse una necesidad en el mundo empresarial de hoy en día. Por esto mismo es que se cuenta con un estado del arte enriquecido en donde la mayoría de los problemas, o al menos los más importantes, ya tienen más de una solución. En esta sección se identifican los problemas más relevantes de la tecnología VoIP y a la vez se proponen posibles soluciones o parámetros a tomar en cuenta en el diseño del prototipo.

1.1.1 Retardo/Latencia: El retardo o latencia en VoIP es el tiempo que tarda la voz en salir de la boca de una persona que está hablando y en llegar al oído de la persona receptora o que esta escuchando.

Existen tres tipos de retardos que son inherentes a las redes de telefonía actuales: retardo de propagación, retardo de serialización y retardo de manejo. El retardo de propagación es causado por la velocidad de la luz en la fibra óptica, en las redes basadas en cobre o en este caso en las redes inalámbricas. El retardo de manejo, también es llamado

retardo de procesamiento, define muchas causas diferentes de retardo (empaquetado, compresión y conmutación de paquetes), y está causado por dispositivos que transmiten la trama a través de la red. El retardo de serialización es la cantidad de tiempo que se tarda en colocar un bit o byte en una interfaz. Este no se explica en profundidad porque su influencia en el retardo es relativamente pequeña.

1.1.1.1 Retardo de propagación: Una red de fibra óptica alrededor del mundo (21.000 Km) induce un retardo en un solo sentido de unos 70 milisegundos (70ms). Aunque este retardo es casi imperceptible al oído humano, el retardo de propagación, junto con los retardos de manejo, pueden provocar una degradación apreciable de la voz. La parte inalámbrica también introduce retardos considerables, los cuales se amplían más adelante.

Para los fines que se persiguieron en el prototipo experimental de VoIP sobre WLAN para entornos empresariales, se realizaron medidas de este retardo de propagación tomando como ejemplo la Red interna de la Universidad del Cauca, ya que, es el esquema más cercano que se asemeja a una red empresarial real (motivo del estudio). Con el programa de distribución libre Iperf, en una configuración inalámbrica EBSS a las 3 de la tarde bajo condiciones normales de trabajo, se obtuvo un retardo siempre menor de 20ms. Las pruebas se llevaron a cabo entre dos computadores indicados en la figura 1, uno ubicado en el IPET (Edificio de Postgrados) y el otro en la oficina del GNTT (Grupo de Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones). El computador 1 se configuró como cliente, generando un tráfico de 15 Mbps hacia el servidor (computador 2), que a su vez analizaba los retardos. Estos varían dependiendo la hora del día, de esta forma se obtuvieron en horas de la noche los mejores resultados (menor retardo). El diseño de la red es determinante en el buen funcionamiento de VoIP, por lo que se aconseja hacer un diagnóstico inicial antes de comenzar a implementar el sistema en una red de datos. Por ejemplo, en el análisis del tráfico de la red Unicauca, dio como resultado que la mayor parte de éste es ARP (tráfico broadcast), lo cual indica que las condiciones no son las mejores para implementar VoIP.

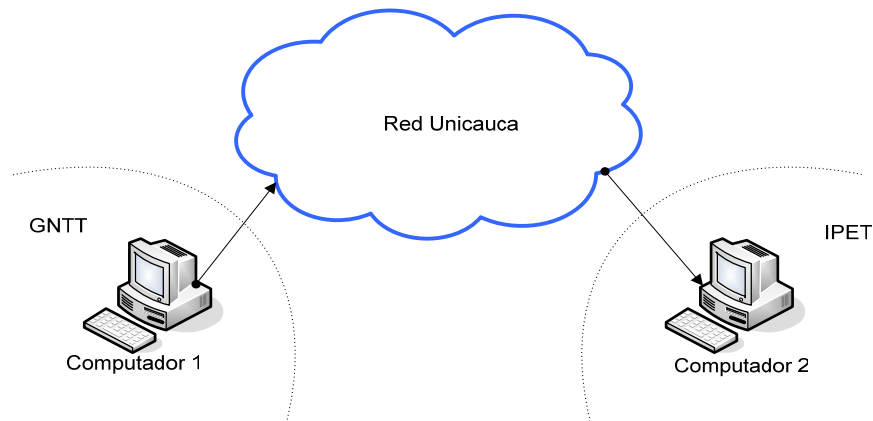


Figura 1. Prueba de retardos en la red de Unicauca

1.1.1.2 Retardo de manejo: Los retardos de manejo pueden tener impacto en las redes telefónicas tradicionales, pero esos retardos son un problema mayor en los entornos de paquetes. A continuación se explican los diferentes retardos de manejo y como afectan a la calidad de voz:

En un producto de VoIP, el procesador digital de señal (DSP, Digital Signal Processor) genera una muestra de voz cada 10ms cuando se utiliza el códec G.729. Dos de esas muestras de voz (ambas con 10ms de retardo) se colocan dentro de un paquete. El retardo de paquetes, es por lo tanto de 20ms. Cuando se utiliza el códec G.729 se produce un *look-ahead*² inicial de 5ms, lo que supone un retardo de 25ms para la primera trama de voz. Más adelante se amplía la teoría referente a los códecs, sin embargo, este retardo se presenta sobre todo en códecs con alta compresión como el G.729 (5ms) y el G.723.1 (7.5ms). Para los códecs GSM y G.711 con los cuales se trabajó en el prototipo experimental, el retardo es nulo.

1.1.1.3 Retardo en la gestión de colas: Una red basada en paquetes sufre retardos por otras razones. Dos de estas razones son el tiempo que se necesita para mover un paquete hasta la cola de salida (conmutación de paquetes) y el retardo de la gestión de colas.

² *look-ahead*: retardo que representa la cantidad de datos requeridos en la próxima trama para comprimir la trama actual.

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

El retardo en la gestión de colas, es otra causa que se le suma al retardo. Este debe estar por debajo de 10ms (según los laboratorios Cisco) siempre que se pueda, utilizando cualquier método de gestión de colas que sea óptimo para la red. Este tema se explica con más detalle en el segundo capítulo.

En una red no administrada y congestionada, el retardo en la gestión de colas puede agregar más de dos segundos de retardo (o provocar que el paquete se caiga). Este largo periodo de retardo es inaceptable en casi todas las redes de voz. El retardo en la gestión de colas es solo un componente del retardo de extremo a extremo, el cual también se ve afectado por la fluctuación de fase.

En una de las experiencias realizadas durante el desarrollo del prototipo experimental de VoIP sobre WLAN se observó que éste retardo puede llegar a ser bastante grande, alcanzando algunas veces más de 1 segundo (por ejemplo: cuando se utilizó la red interna de la Universidad del Cauca como escenario de prueba). Sin embargo, se observó que este retardo no afectaba realmente la fluidez de la conversación y que solo se hacía evidente cuando los dos usuarios que cursaban el dialogo se encontraban dentro del mismo recinto. Cuando se realizó una llamada en condiciones ideales (es decir conectadas a un conmutador sin tráfico de background) este retraso era casi imperceptible, lo cual indica la importancia de la priorización de tráfico y manejo de la calidad del servicio.

1.1.1.4 Parámetros de calidad: La recomendación **G.114 de la ITU-T** (*One-way Transmission Time*) especifica que para una buena calidad de voz no debe darse un retardo mayor de 150ms en un solo sentido, de extremo a extremo, como muestra en la figura 2.

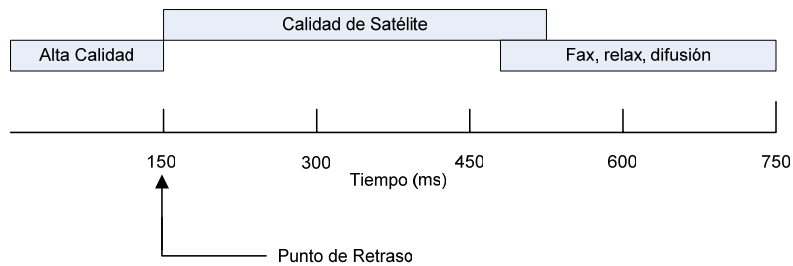


Figura 2. Retardo de extremo a extremo

Como se puede observar en la figura 2, algunas formas de retardo son más largas, e incluso superan los valores indicados en la recomendación antes citada, sin embargo, se aceptan debido a que no existe otra alternativa, por ejemplo, en la transmisión por satélite se tarda aproximadamente 250 ms para que una transmisión alcance el satélite y otros 250ms para volver a la tierra. Esto provoca un retardo total de 500ms. A pesar que la recomendación de la ITU-T afirma que esto está fuera de lo aceptable para la calidad de la voz, muchas conversaciones tienen lugar cada día sobre enlaces de satélite. De esta manera, la calidad de voz viene a menudo definida como lo que los usuarios aceptan y utilizan.

1.1.2 Fluctuación de fase (Jitter): Dicho de manera sencilla, la fluctuación de fase (jitter) es la variación del tiempo de llegada de un paquete. Cuando está en un entorno de voz por paquetes, el remitente espera transmitir de forma fiable paquetes de voz en un intervalo regular (por ejemplo, enviar una trama cada 20ms). Esos paquetes de voz se pueden retrasar por toda la red de paquetes y no llegar con el mismo intervalo de tiempo regular a la estación receptora (por ejemplo, puede que no sean recibidos cada 20ms). La diferencia entre cuando se esperaba recibir el paquete y cuando se recibe en realidad es lo que se llama la fluctuación de fase.

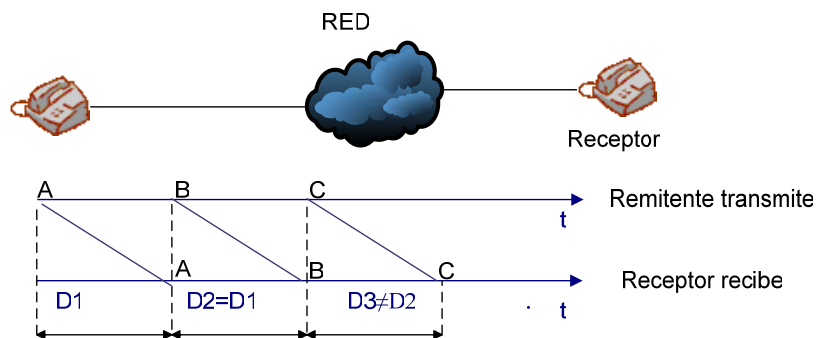


Figura 3. Fluctuación de Fase

En la figura 3 se puede ver que el tiempo que se tarda en enviar y recibir paquetes A y B es el mismo ($D1=D2$). El paquete C tiene un retardo en la red y se recibe después de la hora a la que se esperaba. Es por esto que es necesario un búfer de fluctuación de fase que oculte el retardo.

Es importante resaltar que la fluctuación de fase y el retardo total no son la misma cosa, a pesar de que tener muchas fluctuaciones de fase en una red de paquetes puede incrementar el retardo total en la red. Esto se debe a que cuanto más fluctuación de fase haya, más necesitará ser compensado el búfer de fluctuación de fase por la impredecible naturaleza de la red de paquetes.

Si la red de datos está bien construida y se toman las precauciones apropiadas, la fluctuación de fase es normalmente un problema menor y el búfer de fluctuación de fase no contribuye significativamente el retardo total de extremo a extremo. En el Capítulo 2 se recomiendan una serie de pasos a realizar para estructurar la red de datos para el tráfico de voz.

Las *timestamps* (marcas de tiempo) de RTP (*Real Time Protocol*) se utilizan dentro de algunas implementaciones para determinar que nivel de fluctuación de fase existe dentro de la red. El búfer de fluctuación de fase se considera como una cola dinámica, o estática. En el primer caso, esta cola puede crecer o disminuir exponencialmente dependiendo del tiempo de los paquetes RTP entre llegada y llegada. En el segundo caso ésta tiene un valor fijo, es decir que el búfer almacena una porción *limitada* de la

conversación. La mayoría de los fabricantes eligen utilizar búferes de fluctuación de fase estática, sin embargo, esto obliga a que el búfer sea demasiado grande o demasiado pequeño, y por lo tanto, que la calidad de audio se recienta debido a la pérdida de paquetes o a un retraso excesivo. Algunas empresas, entre las que se cuenta Cisco, utilizan un búfer de fluctuación de fase que se incrementa o disminuye dinámicamente dependiendo de la variación de retraso entre llegadas de los últimos paquetes, lo cual evita los inconvenientes mencionados anteriormente para las colas estáticas.

1.1.3 Compresión de la Voz: Los algoritmos de compresión ayudan a optimizar la infraestructura de red de forma que se llegue a obtener tanta capacidad como sea posible, pero los algoritmos de compresión involucran una compensación entre eficiencia y encabezado (información adjunta para garantizar un control de errores) que se debe considerar.

Mientras G.711 es el códec digital del flujo principal para servicios de voz de alta calidad, un número más de códecs eficientes se usan para aplicaciones de celular y voz. En una red IP, los códecs de voz se ubican en paquetes de muestras de voz con una duración de 5, 10 o 20 ms, y estas muestras se encapsulan en un paquete de VoIP.

Se utilizan dos variaciones básicas de PCM de 64Kbps: La ley μ y la ley A. Los métodos se parecen en que ambos utilizan compresión logarítmica para alcanzar de 12 a 13 bits de calidad PCM lineal en 8 bits, pero se diferencian en detalles de compresión relativamente menores (la ley μ tiene una ligera ventaja en la capa baja, rendimiento en relación señal a ruido).

Otro método de compresión utilizado a menudo es la Modulación de Pulsos Codificados Diferencial Adaptativa (*ADPCM, Adaptive Differential Pulse Code Modulation*). Un ejemplo común de la utilización de ADPCM es la ITU-T G.726, que codifica utilizando muestras de 4 bits, lo que da una velocidad de transmisión de 32Kbps. A diferencia de la PCM, los 4 bits no codifican directamente la amplitud de la voz, sino que codifican las diferencias de la amplitud.

PCM y ADPCM son ejemplos de codificación por forma de ondas, técnicas de compresión que explotan las características redundantes de la forma de onda.

En los últimos años se han desarrollado nuevas técnicas que emplean procedimientos de procesamiento de señales que comprimen la voz enviando sólo información paramétrica simplificada sobre la vibración y modulación de la voz original, necesitando menos ancho de banda para transmitir esa información. Estas técnicas se pueden agrupar generalmente como códecs de origen, e incluyen variaciones como la codificación con predicción lineal (LPC, Linear Predictive Coding), la compresión de predicción lineal con excitación por código (CELP, Code Excited Linear Prediction Compression) y la MP-MLQ (Multipulse, Multilevel Quantization).

Normas de Codificación de voz: La ITU-T normaliza los esquemas de codificación CELP, MP-MLQ PCM y ADPCM en sus recomendaciones de la serie G. Entre los estándares de codificación más populares para telefonía y voz por paquetes se incluyen:

G.711 → Describe la técnica de codificación de voz de PCM de 64Kbps subrayada anteriormente; la voz codificada con G.711 está en un formato correcto para la entrega de voz digital en la red telefónica pública o a través de (PBX).

G.726 → Describe la codificación de ADPCM a 40, 32, 24, 16 Kbps; también se puede intercambiar voz ADPCM entre voz por paquetes y telefonía pública o redes PBX, suponiendo que estas últimas tiene la capacidad ADPCM.

G.728 → Describe una variación de bajo retardo de 16 Kbps de una compresión de voz CELP.

G.729 → Describe la compresión CELP que permite que la voz sea codificada en corrientes de 8 Kbps; dos variaciones de este estándar (G.729 y G.729, Anexo A) difieren ampliamente en cuanto a complejidad de computación, y ambas proporcionan generalmente una calidad de voz tan buena como la ADPCM de 32 Kbps.

G.723.1 → Describe una técnica de compresión que se puede utilizar para comprimir voz u otros componentes de señales de audio de servicios multimedia a una baja velocidad de bit, como parte de la familia de estándares H.324. Dos velocidades de bit están asociadas con este codificador: 5.3 y 6.3 Kbps. La velocidad de bit más alta se basa en la tecnología MP-MLQ y proporciona una mayor calidad. La velocidad de bit más baja se basa en CELP y proporciona buena calidad, y permite que los diseñadores del sistema tengan flexibilidad adicional.

1.1.4 Nota Media de Opinion (MOS): Hay dos formas de probar la calidad de la voz: subjetiva y objetivamente. Los humanos realizan pruebas de calidad de voz subjetivas, mientras que las computadoras realizan pruebas de voz objetivas.

Los códecs se han desarrollado y armonizado sobre la base de medidas de calidad de voz. Las medidas estándar de calidad objetiva, como una total distorsión armónica y relación señal a ruido no se corresponden muy bien con una percepción de calidad de voz humana, lo que al final es la meta de la mayoría de las técnicas de compresión de voz. Una referencia subjetiva común para cuantificar el rendimiento del códec (codificador – decodificador) de voz es lo que se llama la nota media de opinión (MOS, Mean Opinion Score). Las pruebas MOS se dan a un grupo de oyentes. Como la calidad de voz y sonido es subjetiva para los oyentes en general, es importante obtener una amplia gama de oyentes y material cuando se realiza una prueba MOS. Los oyentes otorgan a cada muestra de materia de voz una puntuación entre 1 (malo) y 5 (excelente). Se saca luego una media para obtener la puntuación media de la opinión.

La comprobación MOS se utiliza también para comparar como funciona un códec determinado bajo circunstancias distintas, incluidos diferentes niveles de ruidos de fondo, múltiples codificaciones y decodificaciones, etc. En la tabla 2, se pueden observar el valor MOS para los códecs más comunes.

Medición de la calidad de voz según la percepción: Aunque la puntuación MOS es un método subjetivo para determinar la calidad de la voz, no es el único método para hacerlo. La ITU-T ha sacado la recomendación P.861, que cubre las maneras con las que se

puede determinar objetivamente la calidad de voz utilizando la medición de esta según la percepción (PSQM, Perceptual Speech Quality Measurement).

PSQM tiene muchos inconvenientes cuando se utiliza con códecs de voz (vocoders). Uno de estos inconvenientes es que lo que la "máquina" o PSQM "oye" no es lo que percibe el oído humano. En otros términos, una persona puede engañar al oído humano al percibir una voz de mayor calidad, pero una computadora no puede. PSQM fue desarrollado para oír deterioros provocados por la compresión y descompresión y no por la pérdida de paquetes o la fluctuación de fase.

1.1.5 Eco: El eco es un fenómeno que en una conversación puede ir desde lo ligeramente molesto hasta lo insoportable, provocando que la conversación sea inteligible. Oír la propia voz en el auricular mientras se está hablando es común y tranquilizador para la persona que está hablando, pero oír la propia voz después de un retardo de unos 25ms puede provocar interrupciones y romper la cadencia de la conversación.

En una red tradicional, el eco está normalmente provocado por un desajuste en la impedancia de la conversión del conmutador de red de cuatro cables al bucle local de dos cables. En la red de telefonía pública conmutada (RTPC), el eco está regulado con canceladores de eco y un firme control sobre los desajustes de la impedancia en los puntos de reflexión común.

El eco tiene dos inconvenientes: puede ser alto y puede ser largo. Entre más alto y largo sea, más incomodo resultará.

Las redes telefónicas en aquellas partes del mundo donde se utiliza principalmente la voz analógica emplean supresores de eco, lo eliminan cubriendo la impedancia en un circuito. Este no es el mejor mecanismo que se puede utilizar para eliminar el eco y, de hecho, provoca otros problemas. Por ejemplo, no se puede utilizar la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI) en una línea que tiene un supresor de eco, porque este corta el radio de acción de la frecuencia que utiliza RDSI.

En las actuales redes basadas en paquetes, se pueden construir canceladores de eco en códecs de velocidad de transmisión baja y hacerlos funcionar en cada DSP. En las implementaciones de algunos fabricantes, la cancelación del eco se hace en el software; esta práctica reduce drásticamente los beneficios de la cancelación del eco. El dispositivo a través del cual está hablando un usuario guarda una imagen inversa de las palabras del usuario durante un cierto tiempo. Es lo que se llama voz inversa (inverse speech [-G]). Este cancelador de eco oye el sonido que viene del otro usuario y sustrae el -G para eliminar todo el eco. Los canceladores de eco están limitados por la cantidad total de tiempo que esperan a que llegue la palabra reflejada, un fenómeno conocido como *echo tail (eco posterior)*.

1.1.6 Pérdida de paquetes: En las redes de datos, la pérdida de paquetes es común y esperada, más aún cuando se trata de redes inalámbricas. 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 voz en redes de datos, es necesario contar con una red que transporte con éxito la voz de manera fiable y oportuna. Resulta de gran ayuda poder utilizar un mecanismo para hacer que la voz sea resistente a la pérdida periódica de paquetes. Se han desarrollado muchas herramientas de calidad de servicio (QoS) que permiten clasificar y administrar el tráfico a través de una red de datos, como se verá en el siguiente capítulo. Si una red de datos esta bien construida, se puede mantener la pérdida de paquetes en un punto mínimo.

Si un paquete de voz no es recibido dentro del intervalo de tiempo esperado (el tiempo esperado es variable), se da por hecho como perdido y de nuevo se repite el último paquete recibido, como se muestra en la figura 4:

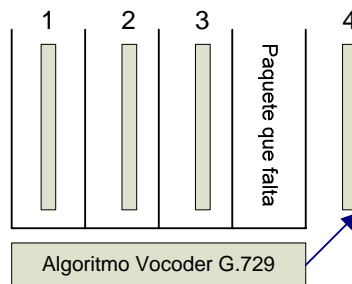


Figura 4. Pérdida de paquete con G.729

Por ejemplo, al utilizar una implementación G.729 se puede decir que cada línea de la figura 4 representa un paquete. Los paquetes 1,2 y 3 alcanzaron su destino, pero el paquete 4 se ha perdido en algún sitio durante la transmisión. La estación receptora espera durante un periodo de tiempo (por su búfer de fluctuación base) y luego ejecuta una estrategia de ocultación.

Esta estrategia de ocultación vuelve a repetir el último paquete recibido (en este caso, el paquete 3) por lo que el oyente no aprecia que hay lagunas de silencios. Como la voz perdida solo 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 solo una vez hasta que se reciba otro paquete.

Debido a la estrategia de ocultación de G.729, de modo empírico se puede decir que G.729 tolera hasta un cinco por ciento de pérdida de paquetes como media a lo largo de toda una conversación.

1.1.7 Encapsulamiento de VoIP: En un principio las palabras de voz provenientes del cliente de VoIP, se convierten en la carga útil del paquete RTP (Real Time Protocol), este a su vez es encapsulado en un paquete UDP en el cual se especifican los puertos de fuente y destino. Este paquete UDP se convierte en la carga útil del paquete IPv4 o IPv6 (dependiendo de la versión de IP con la que se trabaja). Para IPv4, el encabezado es de 40 bytes y para IPv6, este encabezado aumentará a 60 bytes. Este último paquete IP, es

transportado por alguna tecnología de nivel 2 como WLAN (foco del proyecto) o Ethernet (802.3) las cuales se extenderán en el capítulo 2.

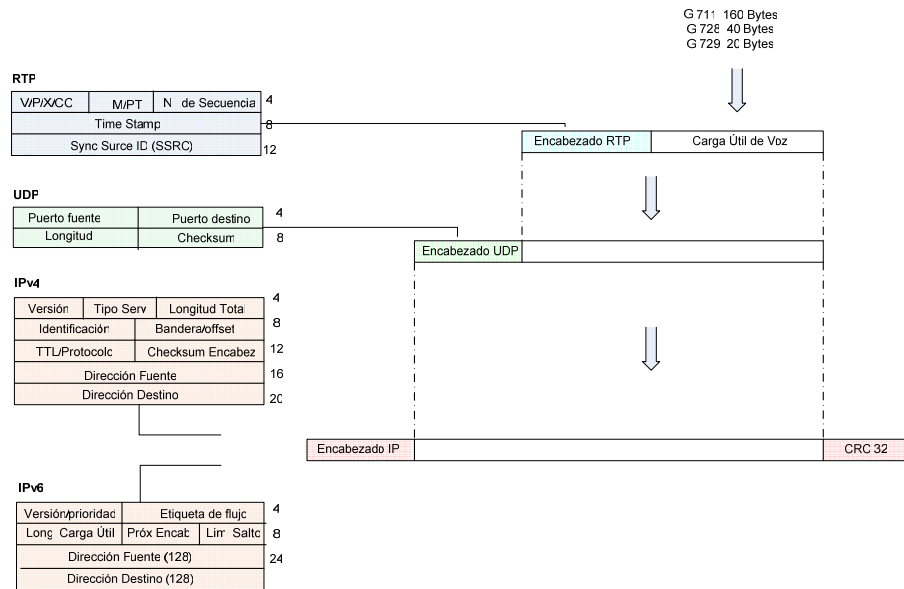


Figura 5. Encapsulamiento de VoIP IPv4 e IPv6

VoIP tiene un aspecto de sobrecarga importante a mencionar cuando altos niveles de compresión de voz se aplican a paquetes de corta duración. El sacrificio entre la sobrecarga y la duración del paquete se muestra en la tabla 1, por ejemplo, se puede observar que se obtiene una mejor eficiencia cuando se envían varias palabras G.711 en el paquete de voz. Otros factores que afectan el planeamiento de la capacidad de la red de VoIP, como retardos (delay), jitter y duración de paquetes, se discuten más adelante.

Tabla 1. Eficiencia: sobrecarga vs duración del paquete

Código Utilizado	Duración de la trama del paquete de voz (ms)			
	5	10	20	40
IPv4 G.711	47.6%	64.5%	78.4%	87.9%
IPv6 G.711	38.5%	55.6%	71.4%	83.3%
IPv4 G.726	31.3%	47.6%	64.5%	78.4%
IPv6 G.726	23.8%	38.5%	55.6%	71.4%
IPv4 G.729	10.2%	18.5%	31.3%	47.6%
IPv6 G.729	7.2%	13.5%	23.8%	38.5%

En la Tabla 2, se listan los requerimientos en una vía para los códecs típicos de voz usados en VoIP. Así mismo se listan otros factores como la puntuación MOS que se explicó anteriormente.

Tabla 2. Características relacionadas con los códecs

Fuente: Laboratorios Cisco

Métodos de compresión	Velocidad de bit (Kbps)	Tamaño de muestra (ms)	Puntuación MOS	Ancho de banda típico IP (en un solo sentido)
G.711 PCM	64	0.125	4.1	80Kbps
G.726 ADPCM	32	0.125	3.85	48Kbps
G.728 LD-CELP (Predicción Lineal con excitación por código de bajo retardo)	15	0.625	3.61	32Kbps
G.729 CS-ACELP (Predicción lineal con excitación por código algebraico de estructura conjugada)	8	10	3.92	23.7Kbps
G.729(A) CS-ACELP	8	10	3.7	24Kbps
G.723.1 MP-MLQ	6.3	30	3.9	17.07Kbps
G.723.1 ACELP	5.3	30	3.65	16.27Kbps

En la tabla 2 se observan dos aspectos determinantes: La puntuación MOS que indica el entendimiento de la conversación y el ancho de banda típico que consume cada uno de los métodos de compresión. Haciendo un análisis, se tiene que el códec G.711 es el mejor en cuanto a calidad de voz se refiere y el códec G.723.1 es el que menos ancho de banda consume, sin embargo se tiene que el códec G.729 es un punto intermedio entre ambos, entregando una calidad de voz bastante buena y un ancho de banda considerablemente menor que el códec G.711.

Sin lugar a dudas el códec G.729 es la mejor opción, pero a diferencia del G.711, tiene licencia³ y es muy costosa al igual que el códec G.723.1. Por lo tanto, se decidió trabajar con el códec G.711 no teniendo más opciones, pero considerando además que el ancho de banda disponible actualmente en las tecnologías inalámbricas es suficiente para

³ Consultar <http://www.sipro.com/pricelist.php>

trabajar con códecs que consumen el BW como lo es G.711. Adicionalmente, como se explica en el Capítulo 2, si fuera necesario se puede aumentar la capacidad de llamadas aumentando puntos de acceso inalámbrico.

1.1.8 Capacidad Empresarial⁴: Debido a que el tráfico de VoIP usa RTP (Real Time Protocol) para transportar el tráfico de voz, se pueden usar los mismos principios para definir el ancho de banda de los enlaces WAN.

Hay algunos aspectos a tener en cuenta para la definición del ancho de banda. Las consideraciones discutidas a continuación afectarán el ancho de banda de las redes de voz:

- Códecs de voz
- Muestreos
- Detección de actividad de voz
- Compresión del encabezado RTP

Códecs de voz: Como se aclaró anteriormente cada códec tiene diferentes tasas de bits y algunos son más complejos que otros (tabla No. 2). Los códecs impactan el ancho de banda porque ellos determinan el tamaño de la carga útil de los paquetes transferidos sobre el tramo IP de una llamada. En algunas pasarelas, se puede configurar el tamaño de la carga útil para controlar el ancho de banda. Si se incrementa la carga útil, se reduce el número de paquetes enviados, por lo tanto se decrementa la necesidad de ancho de banda necesitada por la reducción del número de cabeceras requeridas para la llamada.

El número de muestras por paquete es otro factor en determinar el ancho de banda de una llamada de voz. El códec define el tamaño de la muestra, pero el total de muestras puestas en un paquete determina que cantidad de paquetes son enviados por segundo. De tal forma que, el número de muestras incluidas en un paquete afecta el conjunto de ancho de banda de una llamada.

⁴ Información acerca de teoría de tráfico en el anexo A.

Por ejemplo:

Una muestra de G.711 de 10 ms es de 80 bytes por muestra. Una llamada de solo una muestra por paquete debería ser así:

*80 bytes + 20 bytes IP + 12 UDP + 8 RTP = 120 bytes por paquete
120 bytes por paquete * 100 pps = (12000 * 8 bits) / 1000 = 96 kbps por llam.*

La misma llamada usando 2 muestras de 10 ms por paquete debería mostrar lo siguiente:

*(80 bytes * 2 muestras) + 20 bytes IP + 12 UDP + 8 RTP = 200 bytes por paq.
(200 bytes por paq.) * (50 pps) = (10000 * 8 bits) / 1000 = 80 kbps por
llam. (este valor se tiene en cuenta en la tabla 2)*

Nota: En los cálculos anteriores no se tomaron en cuenta los encabezados de nivel 2.

El resultado muestra que hay una diferencia de 16kbps entre las dos llamadas. Cambiando el número de muestras por paquete, definitivamente se puede cambiar la cantidad de ancho de banda que una llamada usa, sin embargo, cuando se incrementa el número de muestras por paquete, también se incrementa la cantidad de retardo en cada llamada puesto que los recursos DSP (Digital Signal Processor), los cuales manejan cada llamada, deben almacenar las muestras por un periodo de tiempo mayor. Se debe tener en cuenta esto cuando se diseña una red de voz.

DetECCIÓN DE ACTIVIDAD DE VOZ (VAD): Las conversaciones típicas de voz pueden contener entre un 35% y 50% de silencio. Con las redes tradicionales, basadas en circuitos, todas las llamadas de voz usan un ancho de banda fijo de 64 kbps sin importar cuanto silencio haya en éstas. Con las redes de VoIP, todas las conversaciones y silencios son paquetizados. La VAD envía paquetes RTP solamente cuando la voz es detectada. Para el planeamiento de ancho de banda de VoIP, se asume que VAD reduce

el ancho de banda hasta en un 35%. Aunque este valor puede ser menor, este provee una estimación aproximada para varios dialectos y patrones de lenguaje.

Los códecs G.729 Anexo-B y G.723.1 Anexo-A incluyen una función VAD integrada, pero aparte de eso tienen un desempeño igual al G.729 y G.723.1, respectivamente.

Compresión del Encabezado RTP: Como se explicó anteriormente (ver figura 5) todos los paquetes de VoIP tiene dos componentes: muestras de voz y encabezados IP/UDP/RTP. Aunque las muestras de voz son comprimidas por el procesador digital de señales (DSP) y varia en tamaño dependiendo del códec que use, los encabezados siempre son de 40 bytes para IPv4 o de 60 bytes para IPv6. Cuando se comparan los 20 bytes de muestras de voz en una llamada con el códec G.729, los encabezados toman una considerable cantidad de sobrecarga (el doble). Usando la compresión de encabezado RTP (cRTP), estos encabezados pueden ser comprimidos a 2 o a 4 bytes. Esta compresión puede ofrecer un ahorro de ancho de banda sustancial. Por ejemplo una llamada de VoIP consume 24 kbps sin cRTP, pero sólo 12 kbps con cRTP activada.

El tipo de código, las muestras por paquete, VAD, y cRTP afectan, de una u otra manera. En cada caso, hay una transacción entre la calidad de voz y el ancho de banda. La tabla 3 muestra la utilización del ancho de banda para varios escenarios. La eficiencia VAD se asume de un 50% para observar los efectos que induce. Como se vio anteriormente los silencios son relativos al tipo de conversación que se este llevando a cabo, es decir si se trata de una conversación fluida los silencios pueden ser pocos.

En la tabla 3 se relacionan los efectos del tamaño de la carga útil en los requerimientos de ancho de banda de varios de los códecs.

Tabla 3. Efectos del tamaño de carga útil en los requerimientos de ancho de banda

Fuente: Laboratorios Cisco

Códec/ Algoritmo	Voice BW (kb/s)	Frame Size (bytes)	Packets per Second	IP/UDP/RTP Header (bytes)	CRTP Header (bytes)	L2	Layer 2 Header (bytes)	Total Bandwidth (kb/s) No VAD	Total Bandwidth (kb/s) With VAD
G.711	64	80	50	40	—	Ether	14	85.6	42.8
G.711	64	80	50	—	2	Ether	14	70.4	35.2
G.711	64	80	50	40	—	PPP	6	82.4	41.2
G.711	64	80	50	—	2	PPP	6	67.2	33.6
G.711	64	80	50	40	—	FR	4	81.6	40.8
G.711	64	80	50	—	2	FR	4	66.4	33.2
G.711	64	80	100	40	—	Ether	14	107.2	53.6
G.711	64	80	100	—	2	Ether	14	76.8	38.4
G.711	64	80	100	40	—	PPP	6	100.8	50.4
G.711	64	80	100	—	2	PPP	6	70.4	35.2
G.711	64	80	100	40	—	FR	4	99.2	49.6
G.711	64	80	100	—	2	FR	4	68.8	34.4
G.729	8	10	50	40	—	Ether	14	29.6	14.8
G.729	8	10	50	—	2	Ether	14	14.4	7.2
G.729	8	10	50	40	—	PPP	6	26.4	13.2
G.729	8	10	50	—	2	PPP	6	11.2	5.6
G.729	8	10	50	40	—	FR	4	25.6	12.8
G.729	8	10	50	—	2	FR	4	10.4	5.2
G.729	8	10	33	40	—	Ether	14	22.4	11.2
G.729	8	10	33	—	2	Ether	14	12.3	6.1
G.729	8	10	33	40	—	PPP	6	20.3	10.1
G.729	8	10	33	—	2	PPP	6	10.1	5.1
G.729	8	10	33	40	—	FR	4	19.7	9.9
G.729	8	10	33	—	2	FR	4	9.6	4.8
G.723.1	6.3	30	26	40	—	Ether	14	17.6	8.8
G.723.1	6.3	30	26	—	2	Ether	14	9.7	4.8
G.723.1	6.3	30	26	40	—	PPP	6	16.0	8.0
G.723.1	6.3	30	26	—	2	PPP	6	8.0	4.0
G.723.1	6.3	30	26	40	—	FR	4	15.5	7.8

1.2 Consideraciones Importantes de WLAN

WLAN presenta un crecimiento desbordado en todos los lugares del mundo, el mejoramiento de esta tecnología tiene el apoyo de la industria y en conjunto todos

trabajan por sacar de ella un mejor provecho solucionando los problemas que se han presentado hasta el momento y previendo los que vienen. En el año 2004, WLAN obtuvo un logro importante con la ratificación del estándar 802.11i referente a seguridad, lo cual le da más agilidad a la adopción de esta tecnología a empresas y personas que no confiaban en estas redes que se exponen a un medio no controlado como lo es el aire. A continuación se describen algunos de los problemas más relevantes en las redes inalámbricas.

1.2.1 Rendimiento de los Puntos de Acceso de WLAN (AP): Para optimizar la capacidad de red de una WLAN con aplicaciones de voz o multimedia, se debe brindar especial atención al rendimiento de los APs (Access Points, puntos de acceso inalámbricos), los cuales son el primer medio de acceso a la red y por lo tanto controlan que tan rápidamente los datos de cualquier tipo pueden ser puestos en esta.

A continuación, dos funciones básicas que afectan el rendimiento de un AP:

1. Densidad de Área y densidad de modulación soportado por la celda
 - a. Celdas pequeñas pueden soportar una alta tasa (velocidad) de modulación de datos (peak rate).
 - b. Celdas grandes darán como resultado velocidades bajas.
2. Los protocolos MAC de WLAN tienen los siguientes efectos según estudios de Texas Instruments:
 - a. Los protocolos Ethernet (CSMA/CA), DFC y EDCF, limitan la capacidad en aproximadamente 37% de velocidad pico de datos.
 - b. Los protocolos TDMA programados como HCF puede teóricamente alcanzar alrededor del 90% de capacidad de la red, pero bajo condiciones de máxima carga ellos soportan aproximadamente solo el 75% de capacidad.
 - c. Los protocolos MAC DCF/EDCF no manejan efectivamente las latencias por lo tanto se acerca a la capacidad límite.
 - d. Los protocolos HFC controlan las latencias por medio del suministro de un encolamiento a la medida de forma tal, que todos los usuarios reciban el servicio aún bajo condiciones de máxima carga.

Las anteriores afirmaciones se refuerzan en el capítulo 2, donde se explica la tecnología inalámbrica.

La tabla 4 muestra las tasas (velocidades) de rendimiento para HCF y DCF/EDCF para diferentes modulaciones. Estos valores pueden ser despreciables cuando se aplica a celdas más grandes que operan con modulaciones de capacidad más baja.

Tabla 4. Tasas de rendimiento para HCF y DCF/EDCF para diferentes modulaciones

Modulación	Rendimiento(MBPS)	
	HCF (75%)	DCF/EDCF (37%)
54 MBPS OFDM	40.5	19.98
22 MBPS PBCC	16.5	8.14
11 MBPS CCK	8.25	4.07
5.5 MBPS CCK	4.125	2.035

En general, no se usan las tasas de rendimiento pico teóricas cuando se planifica una Red inalámbrica. Como un principio para tener en cuenta, en la mayoría de los casos se desvaloran las cifras de funcionamiento teórico hasta aproximadamente el 70% a 80% de la capacidad pico.

Nota: con la adición de paquetes y el correcto uso del mecanismo de protección de 802.11, DCF/EDCF puede lograr aumentar los niveles de rendimiento (incrementos de aproximadamente 50% a 55%) con un número limitado de usuarios y un número limitado de conexiones requiriendo capacidades de QoS . Sin embargo, no es clara todavía la estabilidad de DCF/EDCF bajo una carga de usuario alta. En el segundo capítulo se hablará detenidamente sobre las mejoras introducidas a las tecnologías inalámbricas con el estándar 802.11e. y en el capítulo 3 la experimentación arroja resultados en torno al rendimiento del AP, estableciendo la capacidad de tráfico y el número de usuarios.

1.2.2 Seguridad: Uno de los problemas más importantes a tratar es la seguridad, puesto que las redes inalámbricas, debido a su naturaleza, son muy vulnerables al estar

expuestas al alcance de personas ajenas a la red o al grupo de trabajo. Esta vulnerabilidad se presenta, ya que, el aire es un medio compartido en el cual viaja la señal y controlar el acceso a éste es muy difícil, pues cualquier persona o equipo dentro del rango de cobertura de una red inalámbrica, puede tener acceso a la información que viaja en el medio. Hoy en día todos los esfuerzos apuntan a solventar este problema protegiendo la información de sus usuarios. En el anexo C se presenta una información completa acerca de la seguridad en redes inalámbricas.

1.3 Consideraciones Importantes de VoWLAN

En esta sección se abarcan algunos aspectos determinantes de VoWLAN que se deben tener en cuenta para la construcción del prototipo experimental.

1.3.1 Retardo del Tiempo de Acceso: Como se vio antes, independientemente de la aplicación, el tiempo de retardo y el jitter del sistema de VoIP es un gran punto para tener en cuenta en el diseño.

La señalización de VoIP y tráfico de voz no son canales de comunicación separados. Los paquetes de VoIP existen como comunicaciones virtuales dentro del canal de señalización. Solo prioridades de colas puede asegurar el oportuno reparto de los paquetes de voz cuando otro tipo de paquetes están compitiendo por los servicios en una red IP. Esta situación se complica cuando un usuario inalámbrico esta en movimiento y realiza el proceso de *handoffs*⁵ de un AP a otro AP en la red. Más retardos se involucran en la red inalámbrica cuando el usuario se asocia con un AP, sin embargo, la autorización espedida por el AP debe tener lugar y el *handoff* debe ser completado.

La ITU tiene un conjunto de recomendaciones para el retardo máximo de ida y vuelta en un sistema de voz y para la calidad percibida en el canal de voz. Esta recomendación es definida en la **ITU G.131** (*Talker echo and its control*) y es suministrada en la tabla 5:

⁵ Handoff: Es el proceso de transferir una llamada en progreso de una celda con una frecuencia determinada a otra celda usando una diferente frecuencia sin interrupción de la llamada.

Tabla 5. Especificación de Retardo G.131

Especificación de Retardo G.131	
0 a 150 ms	Aceptable para la mayoría de aplicaciones
150 a 400 ms	Aceptable para conexiones internacionales
> 400 ms	Aceptable para la operación de una red publica

Bajo condiciones de normal operación, el retardo de ida y vuelta debe ser menor a 150 ms. El siguiente diagrama ilustra los retardos posibles en la trayectoria de comunicación para una red empresarial con una capa de enrutamiento.

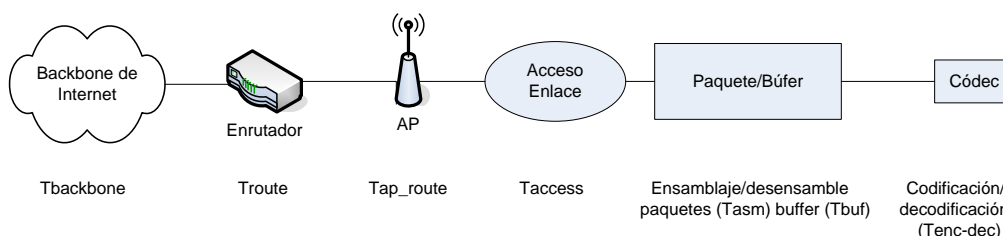


Figura 6. Retardos inducidos en VoWLAN

Debido a que el retardo en el backbone de la RTPC esta más allá del control de los fabricantes de dispositivos móviles, la tabla 6 ilustra un retardo residual presupuestado para el backbone. (Tbackbone) usando estructuras de paquetes VoIP de corta duración G.711 y G.726. Los datos de esta tabla se toman de medidas que fueron hechas en implementaciones software de VoIP y en el peor caso de retardos en una red inalámbrica empresarial extensa.

Tabla 6. Medidas de VoIP en una red inalámbrica red empresarial extensa

Fuente del retardo viaje de ida y vuelta	Símbolo del retardo	G.711 (5ms)	G.726 (10ms)
Codificación / decodificación	Tenc_dec	5.5	5.5
Ensamble/Desensamble	Tasm	10	20
Jitter Buffer (1)	Tbuf	10	20
Retardo por acceso a WLAN	Taccess	10	20
Enrutamiento del punto de acceso	Tap_route	10	10
Enrutamiento empresarial	Trouting	5	5
Retardo del Backbone (residual)	Tbackbone	99.5	69.5
Total		150	150

El retardo del backbone (residual) será menor que 70 ms en países de cobertura moderada, en este caso Colombia, pero en países con gran área geográfica, como los Estados Unidos, Canadá y otros, los retardos de la red del backbone pueden exceder los 70 ms.

Para un teléfono inalámbrico de VoIP, el diagrama equivalente del trayecto de comunicación podría obviar el enrutador empresarial y presentar un mínimo de 10 ms de margen de retardo adicional (el retardo máximo para la red RTPC). El trayecto de retardo SOHO/Residencial es mostrado en la figura 7.

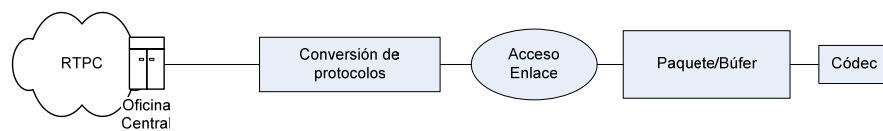


Figura 7. Trayecto de retardo SOHO/Residencial

Algunos efectos que los retardos de la comunicación pueden tener sobre la calidad de la voz pueden ser tratados para mejorar si es una implementación de voz fija de VoIP sobre WLAN, pero otras consideraciones a tener en cuenta aparecen cuando un usuario se desplaza y se realiza un “handoff” de una AP a otro.

1.3.2 Proceso Handoff: En un sistema telefónico celular, una gran cantidad de esfuerzos son puestos en la operación handoff. El handoff por lo general termina en 35 ms, siendo 50 ms el peor caso. Los sistemas WLAN no tienen las capacidades de procesamiento para su interconexión y una inteligencia de conmutación alta entre las celdas, lo cual si está implementado en las redes celulares. En una WLAN, los siguientes conceptos son importantes para la capacidad de la red y mantener el handoff activo en las llamadas telefónicas:

1. La WLAN debe saber cuando un enlace o “link” se ha perdido. (esto puede ser una regla simple, y establecer una relación de pérdida de N/M paquetes.)
2. AP explora y asocia.
 - Actualmente, experimentos realizados por la universidad de Maryland muestran que una exploración del AP tiene lugar en 250 a 400 ms.

- El esfuerzo significativo para mejorar tanto el handoff de AP a AP y la autenticación, está siendo direccionado por el 802.11 en los comités de grupos asignados del 802.11e (QoS) y 802.11i (seguridad) respectivamente.
 - Existen varias soluciones para garantizar un buen handoff y otras capacidades para el manejo de QoS en el mercado, tales como SIPquest handoff Server, Spectralink, Meru Networks, entre otras, que garantizan un handoff de 10ms. Estas soluciones serán explicadas mas adelante.
3. Actualizaciones de autenticación, seguridad y enrutamiento.
- Retardos de más de 3 segundos son causado por servidores de autenticación centralizados (Servidores AAA tales como Radius o Diameter). Aspecto que busca solucionar la certificación WMM de la Wi-Fi Alliance, el cual se tratará en el segundo capítulo.

Los trabajos de mejoramiento en el QoS de la WLAN deben estar orientados a solventar las necesidades o inconvenientes en la exploración del AP, Autenticación y operaciones para la actualización de enrutamiento, ya que son estos factores los que introducen retardos a la comunicación. Las WLANs tienen retardos por handoff aproximadamente 10 veces más grandes que el handoffs del sistema celular, debido a que no han sido diseñados para esto.

Durante el handoff entre los APs 802.11, habrá una corta pero apreciable pérdida de los paquetes de voz, pero esto se puede manejar, ya que los servidores de VPN y los servidores de gestor de llamada tiene pausas del orden de decenas de segundos, por lo tanto mientras algunos paquetes de VoIP pueden estar perdidos en la red inalámbrica, las conexiones deben mantenerse.

Algunas de las propuestas para solucionar el problema presentado con el handoff, incluyen los siguientes conceptos:

1. "El vecino mas cercano" o proxy de autorización de subred (autorización a través de una subred). Esta idea es hacer que el proxy de autorización este en una subred y por lo tanto mas cerca para procesar la autorización de acceso.

2. La más alta prioridad de QoS para los servicios de exploración del AP.
3. “Registro de sombra” en una WLANs empresarial. Lo que significa que un suscriptor sea prerregistrado y autorizado dentro de una subred.
4. Utilizar equipos basados en el borrador 802.11e que cumplan con la certificación WMM de la Wi-Fi Alliance.
5. Tecnología como 802.11i provee handoffs del rango de 20ms-30ms por caching de la llave PMK que permite el establecimiento rápido de una conexión segura.
6. Actualmente se está trabajando en el nuevo estándar 802.11r que busca *Fast Roaming*/ transición rápida de BSS. Aún menor que la anterior. Aún no se tienen borradores de este estándar.

1.3.3 Micromovilidad y Macromovilidad: Con el lanzamiento a gran escala de teléfonos de VoIP basados en WLAN en los entornos empresariales, la tecnología de VoIP ha alcanzado un nivel de madurez tal que los teléfonos inalámbricos de VoIP residenciales, PBXs Inalámbricas y eventualmente sistemas celulares futuros basados en 802.11 ya no son solo una posibilidad para la tecnología VoIP sobre WLAN, son algo inevitable.

El mas grande desafío de VoIP sobre WLAN será como tratar el handoff de una llamada activa entre los APs 802.11. Los teléfonos inalámbricos residenciales de VoIP serán la única aplicación que no requerirá capacidades de handoff inicialmente.

El siguiente diagrama ilustra el desafío de movilidad básica para implementaciones de WLAN:

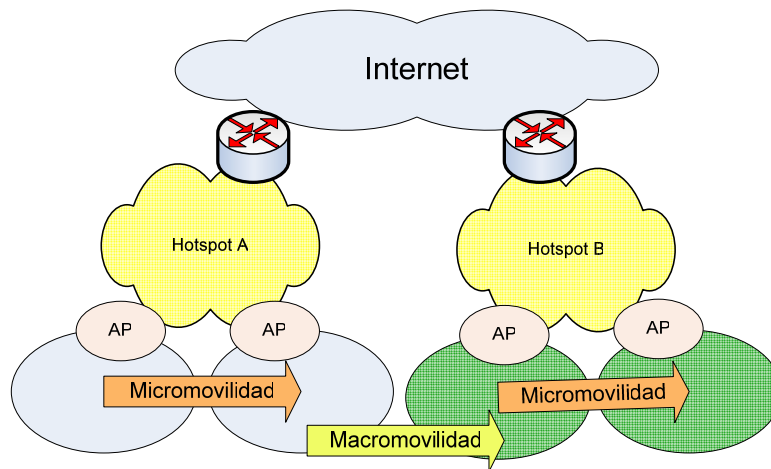


Figura 8. Micromovilidad y Macromovilidad

La naturaleza jerárquica de la topología de red IP termina en dos tipos de movilidad:

- Micromovilidad
- Macromovilidad

Micromovilidad y Macromovilidad están definidas como cambios o alteraciones de la forma de asociación de puntos de acceso mientras que una sesión de VoIP (o datos) corriente está en proceso. Ellos determinan los requerimientos de handoff en el sistema más grande. Micro y macromovilidad difieren del roaming de WLAN u operaciones nómadas cuando una sesión es simplemente terminada y reiniciada en una nueva celda de AP 802.11. (Esto es lo que está ocurriendo en los hotspots WLAN hoy).

Micromovilidad es la forma simple de movilidad. El suscriptor está en movimiento dentro de un dominio único, como una empresa, un equipo o conjunto de hotspots de una compañía A o alguna otra clase de configuración de WLAN limitada. Micromovilidad esencialmente involucra handoffs de intra-dominio. No se necesita coordinación externa. Para asuntos de medida del tiempo, control de llamada y control de handoff puede ser determinado o definido por el diseño de la red. La primera ola de los servicios de VoIP sobre WLAN serán basados en micromovilidad en la empresa o en la residencia.

Es precisamente en este escenario en el cual trabaja el prototipo experimental de VoIP sobre WLAN, debido a que uno de los problemas que pretende resolver es lo relativo a la movilidad y ubicación al interior de la empresa. La macromovilidad no se abarca en este prototipo debido a que no es probable encontrar este caso a nivel empresarial, la macromovilidad esta más bien enfocada a la movilidad de usuarios entre Hot Spots en una ciudad.

Macromovilidad involucra movimiento entre dos dominios, este concepto parte de la administración de organizaciones completamente distintas. Por ejemplo, un *Hot Spot* puede correr por la portadora A y un segundo es administrado por la portadora B. los dos dominios deben colaborar para completar el handoff y dirigir las actividades de autenticación, autorización y contabilidad (AAA authentication, authorization and accounting) entre los dominios. En estas organizaciones se verá implementado algo similar a lo que el esfuerzo de la industria celular ha desarrollado en los últimos años.

Dado que las soluciones de micromovilidad serán las primeras en desarrollarse y estarán a la vanguardia, estas soluciones deben considerar un “*framework*” o estructura que incluya capacidades de macromovilidad para que en determinado momento se dé una evolución eventual a macromovilidad total.

Hay dos métodos principales para soportar movilidad en servicios de VoIP, ellos son: SIP (Session Initiated Protocol) y Mobile IP, de los cuales se hablará más adelante.

1.3.4 Interfaces de Red, integración y Arquitectura: Se deben considerar los requerimientos típicos en una RTPC para relacionarlos y aplicarlos a VoIP.

Como se desarrollen las aplicaciones de VoIP sobre WLAN, así mismo se tendrá un efecto en el diseño e integración del equipo. Los siguientes aspectos tienen gran importancia en el diseño de los equipos y software:

- Algoritmos de comprensión de la voz de VoIP
- Tamaño del paquete de voz, velocidad del paquete y retardo

- Requerimientos de tiempo para señalización y establecimiento de llamada
- Protocolos de control de llamada
- Capacidad y rango de capacidades de QoS que serán soportadas además de la VOZ

El mercado puede ser dividido en desarrollos residencial/SOHO y empresariales. La figura 9 muestra una arquitectura empresarial.

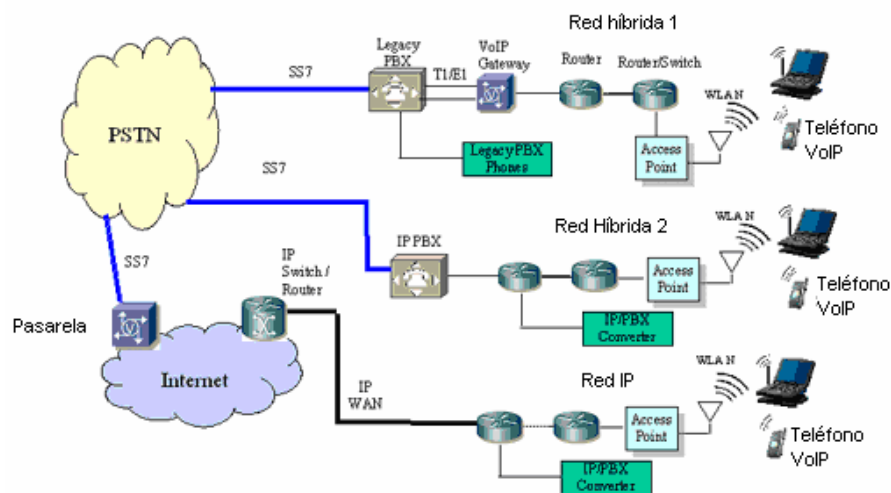


Figura 9. Desarrollo empresarial

La integración de VoIP en el entorno empresarial será evolutiva y no revolucionaria. Más del 90% de las empresas usan equipos analógicos y PBX basadas en RDSI. En algunos casos el equipo PBX es modular y soporta VoIP interconectada con LRUs (unidades reemplazables de línea). Para los equipos PBX más viejos y heredados, una “gateway” o pasarela puede introducir VoIP en la empresa.

Hecho el gasto de las PBXs analógicas y los teléfonos, las empresas, por lo general, se deciden por una transición gradual que les permita contar con desarrollos de VoIP. El entorno empresarial se muestra arriba ilustrado y a continuación se especifican cada una de las fases de desarrollo:

1. El sistema PBX/correo de voz, se conecta a la RTPC. Un pequeño número de usuarios tiene teléfonos de VoIP conectados por una pasarela de VoIP. (red híbrida 1)
2. Un pasarela /PBX de VoIP conecta la empresa a la RTPC. La mayoría de usuarios tienen teléfonos VoIP. Los teléfonos heredados se soportan por un convertidor PBX-IP. Esta red será típica en grandes empresas con gran número de conexiones RTPC. (red híbrida 2)
3. La empresa tiene una conexión IP a una pasarela /PBX remota que puede servir a uno o más clientes comerciales. Los teléfonos analógicos heredados, puede que algunos están soportados por un convertidos IP-PBX y también hay presencia de teléfonos VoIP. esta red en general corresponde a pequeñas y medianas empresas y también puede ser una solución remota para las grandes empresas. (red IP)

La solución empresarial es altamente dependiente de la topología de la red de datos. Un gran número de enrutadores y el tipo de jerarquía entre ellos pueden introducir más retardos desmejorando el rendimiento de la red ya que la transición a través de cada enrutador agregará un retardo presupuestado a los paquetes IP. Los retardos adicionales en la red podrían ser causados por los servidores de autenticación y seguridad centralizada. Dependiendo de la topología de la red, los clientes 802.11 quienes están en "roaming" entre los APs, pueden experimentar retardos mas largos cuando están accediendo a los servidores de autenticación centralizados, también se presentan latencias más grandes cuando están completando el "handoffs" entre los APs. Estos conceptos se deben de tomar en cuenta cuidadosamente a la hora de llevar el prototipo a una implementación en un entorno real de empresa.

2. CRITERIOS DE PLANEACIÓN, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE VOIP SOBRE WLAN

En este capítulo se estudian los criterios más importantes a tener en cuenta para el desarrollo del prototipo experimental de VoIP sobre WLAN para entornos empresariales. El método utilizado para exponer estos criterios se hizo de acuerdo a las capas del modelo OSI, para darle así un orden a los conceptos más importantes a tener presentes en esta implementación. En la capa física se trata todo lo relevante al diseño RF, haciendo una valoración de cada una de las tecnologías 802.11, así como, problemas inherentes a las redes inalámbricas, por ejemplo, interferencias y ruido. Así mismo se plantea la forma de hacer un diseño RF a nivel empresarial extenso así como en mediana y pequeña empresa. A nivel de capa dos y tres se tienen en cuenta las posibles mejoras que se pueden obtener con calidad de servicio (QoS), priorizando tráfico tanto en tecnologías inalámbricas como cableadas. Finalmente se trata el protocolo de señalización de VoIP utilizado en este estudio.

2.1 Nivel Físico: Planeamiento RF

A continuación se muestran los criterios y conceptos generales de planeamiento RF a tomar en cuenta para realizar un diseño adecuado tanto para entornos empresariales grandes, como para entornos empresariales pequeños (SOHO).

2.1.1 Entorno Empresarial: Al analizar específicamente la capacidad global en un despliegue WLAN, se debe considerar los efectos de interferencia co-canal y de canal adyacente en el rendimiento y el ancho de banda de los APs en la infraestructura. Aunque los APs han sido diseñados para cubrir un área suficientemente amplia, en una WLAN se presentan inconvenientes con la interferencia de RF, tomando así características similares a los planteamientos abarcados en las redes micro celulares de RF.

Espectro no Disponible y Canales sin traslape: El número de canales sin traslape es a menudo pasado por alto en el diseño de redes inalámbricas, pero es un factor determinante de la capacidad total del sistema. Cuando un AP se configura para trabajar en los canales sin traslape, puede ser introducido dentro de un sistema inalámbrico para incrementar la capacidad de éste. Por ejemplo, si los usuarios de una red inalámbrica ya han sobrepasado la capacidad de un AP, es posible la introducción de un segundo AP en la misma área y configurado en un canal que no presente traslape con el que ya está operando, por lo tanto, los usuarios estarán compartidos en medio de dos AP, experimentando que la capacidad del sistema se duplica. Esto es análogo a los sistemas de los operadores celulares, quienes instalan más radio estaciones bases para aumentar el número de suscriptores a soportar en sus redes, en un área determinada.

Sin embargo, si los APs se instalan dentro de un rango determinado, y estos no están configurados en canales sin traslape, entonces, no solo no habrán beneficios agregados, sino que el funcionamiento del sistema en conjunto se verá reducido. Esto es porque en la red 802.11, los paquetes provenientes de máquinas con traslape de canales colisionarán uno con el otro. Esto causará que estas máquinas tengan que retransmitir estos paquetes usando el tiempo aleatorio de retardo para evitar colisiones conocido como *Backoff* (*retroceso*). Durante el proceso de backoff, no se envían datos, por lo tanto es un tiempo malgastado evitando la colisión de los paquetes cuando tratan de acceder a dos APs diferentes, trayendo como resultado la disminución en el rendimiento del sistema.

Aún cuando los dispositivos co-canal no están lo suficientemente cerca para causar el backoff, de todas formas estos elevan el ruido en el canal, por lo tanto, en lugar de duplicar la capacidad de una red, por la adición de un segundo AP en el mismo canal o en un canal adyacente, terminará con una capacidad de red más baja operando con un rendimiento muy reducido.

Disponibilidad de Canal Limitada con 802.11b y 802.11g: Mientras la penetrabilidad de 802.11b, la alta velocidad de datos y la compatibilidad con 802.11g, son un valioso atributo y apropiado para muchos ambientes de WLAN y sus aplicaciones, ambas

tecnologías son insuficientes para redes de voz de alta densidad. Esto es debido a las limitaciones de la disponibilidad del espectro impuestas por banda de frecuencia de 2.4 GHz. Las regulaciones de radio frecuencia estipulan el uso de redes inalámbricas (WLAN) en la banda de frecuencia de 2.4 GHz restringiendo la operación de los sistemas dentro de esta banda a solo 3 canales sin traslape.

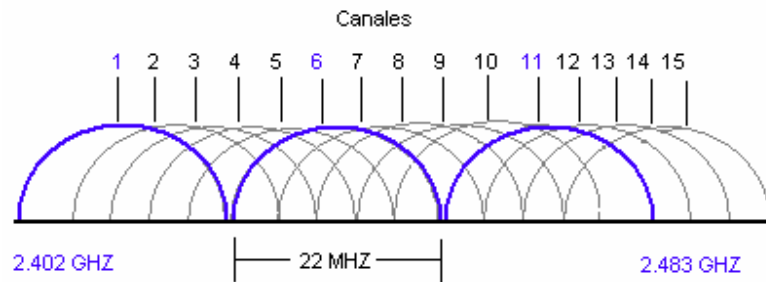


Figura 10. Espectro red inalámbrica a 2.4 Ghz

Esta restricción impone un significativo límite en la capacidad del sistema sobre los desarrollos de 802.11 b/g, por lo tanto, solo tres APs pueden instalarse dentro de un área de cobertura sin traslape (figura 11). Visto de otra forma, la distancia entre los APs que trabajan en “el mismo” canal es relativamente pequeña, lo que significa que el mismo canal deber ser rehusado frecuentemente para dar completo cubrimiento a esta área, incrementando la probabilidad de interferencia co-canal en el área.

La figura 11 muestra un área cubierta por un conjunto de APs basados en configuración de antena omni-direccional simple. Cada color corresponde a uno de los tres canales sin traslape, de forma que la configuración de los APs permiten un reuso apropiado de los canales, aunque se puede distinguir la poca distancia para la reutilización entre ellos.

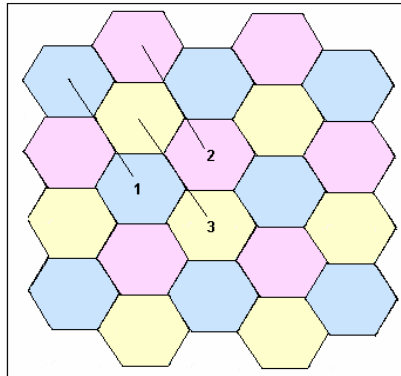


Figura 11. Frecuencia de Reuso con 802.11b/g (2.4 GHz) y 3 canales sin traslape

Disponibilidad Expandida del canal con 802.11a: Inicialmente 802.11a ofreció una disponibilidad aventajada de hasta 12 canales sin traslape (dependiendo del dominio regulatorio) junto con una velocidad de datos de 54 Mbps y un espectro despejado. Recientemente los cambios en la regulación han abierto más el espectro de la banda de frecuencia de 5 GHz, creando la posibilidad de tener 23 o más canales sin traslape (figura 12). No todos los productos de 802.11 aprovechan todos los canales que tienen disponibles, sin embargo, los productos que están operando sobre un subconjunto de los canales disponibles, por ejemplo, usando 8 canales, tienen una ventaja significativa sobre la capacidad de los productos 802.11 b/g.

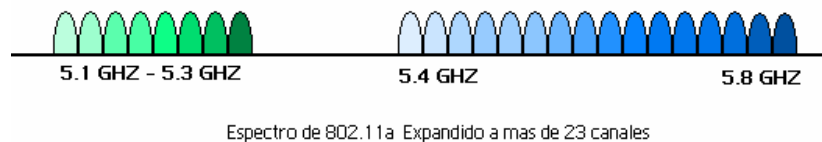


Figura 12. Espectro Disponible a 5GHz

La figura 13 bosqueja una configuración típica de 802.11a usando únicamente 7 canales de reuso. Hay una significativa diferencia entre la distancia de reuso que permiten los 3 canales que se mostraron anteriormente para 802.11b/g, con respecto a los 8 a 21 canales (sin traslape) disponibles. 802.11a simplifica dramáticamente los desarrollos a gran escala, en ambientes de alta densidad de usuarios, debido a la facilidad que ofrece para introducción de APs y mitigar el impacto de la interferencia co-canal.

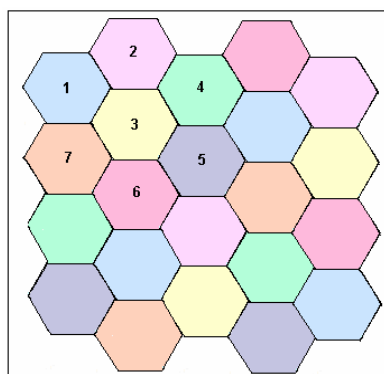


Figura 13. Reutilización de frecuencia mejorada con 802.11a a 5 GHz

Para estos tipos de desarrollos, la distancia de reuso entre celdas, R_u , puede ser definida así:

$$C = 7 \cdot (7 \text{ frecuencias}) : R_u = R_{cell} \cdot \sqrt{3 \cdot C} = 4.48 \cdot R_{cell}$$

$$C = 3 \cdot (3 \text{ frecuencias}) : R_u = R_{cell} \cdot \sqrt{3 \cdot C} = 3.00 \cdot R_{cell}$$

Donde: C : es el tamaño del grupo, el cual es el número de frecuencias usadas en el patrón de reuso.

R_u : es el radio de reuso del grupo de celdas.

R_{cell} : es el radio de cobertura de una sola celda.

Para distancias más grandes que el radio de la celda que genera un AP, se asume que las pérdidas por propagación de RF no serán de espacio libre (R^2), sino que serán R^3 a R^4 . Teniendo en cuenta esta consideración, se produciría una reducción de interferencia entre celdas de por lo menos:

$$C = 7 : 19.5dB - 26.1dB \quad (\text{Permite de 36 a 54 Mbps OFDM})$$

$$C = 3 : 14.3dB - 19.1dB \quad (\text{Permite de 22 Mbps PBCC a 36 Mbps OFDM})$$

En la actualidad existen programas de simulación que permiten a los diseñadores obtener un modelo anticipado de la distribución de los radios de cobertura y la efectiva ubicación de los APs.

La capacidad versus el rango de cobertura: Los APs de las redes inalámbricas son a menudo considerados de más en relación a la cobertura que proveen, en otras palabras, no se considera su rango frente a la capacidad que debe ser capaz de entregar.

La capacidad de la red debe ser considerada a la par con el sistema, y por consiguiente la habilidad para agregar APs se convierte en un factor mucho más crítico que el rango individual de un AP. De hecho, a fin de aumentar la densidad de APs en un área determinada, a menudo el rango (potencia de salida) de cada AP debe ser reducida para minimizar la interferencia co-canal y de esta manera poder agregar más APs dentro del área.

Algunas diferencias entre 802.11b/g y 802.11a concernientes al rango de cobertura que proveen (si es real o aparente), se vuelven importantes cuando se considera en un desarrollo de alta densidad de usuarios que soportan aplicaciones de voz. El factor principal que incrementará la capacidad del canal ofrecido por 802.11a y que favorece las aplicaciones de voz, es la reducción intencional del rango de cada AP para aumentar la capacidad con el número de APs.

Basado en los grandes desarrollos, sería posible implementar WLANs 802.11 a/b/g con cobertura de antenas omni-direccionales y permitir selección automática de frecuencia para el punto de acceso, por lo tanto el AP será capaz de establecer el plan de frecuencia más efectivo.

Es posible usar puntos de acceso sectorizados y mejorar el reuso de frecuencia, sin embargo, en un ambiente empresarial esto requeriría una muy cuidadosa localización de los APs y alineación de zonas celulares.

2.1.2 Entorno SOHO: Para los desarrolladores de puntos de acceso WLAN para el mercado residencial/SOHO, la cobertura celular y el rendimiento son los asuntos más cruciales que definen la implementación en éste. Los repetidores inalámbricos, los cuales pueden usarse para realizar redes residenciales pequeñas, son métodos de bajo costo de mejoramiento de la cobertura y el rendimiento.

Una posible técnica para extender la cobertura y mejorar el servicio SOHO es el uso de múltiples APs en una arquitectura de repetidor (de malla). Un ejemplo simple presentando dos puntos de acceso es ilustrado en la figura 14, el cual se efectuó en las instalaciones del IPET de la Universidad del Cauca, con el fin de mostrar una posible implementación en una empresa mediana/pequeña, en la cual se puede cubrir toda el área con dos APs.

El punto de acceso B es un repetidor (elemento de malla) del punto de acceso A, el cual se conecta a la red de la Universidad del Cauca. El punto de acceso A funciona como un enrutador al punto de acceso B. El punto de acceso A debe mantener una lista de enrutamiento para todos los clientes en la red telefónica mientras el punto de acceso B únicamente mantiene una lista de enrutamiento de los clientes ligados a él. Por ejemplo, B puede ser un simple “bridge” (puente) o un enrutador más inteligente. Claramente, la movilidad o “roaming” de los terminales entre las celdas en esta clase de acomodación generará un encabezado transmitiendo mensajes para actualizar o mantener la información de enrutamiento.

Las Redes en malla pueden estar muy profundamente anidadas, tanto así que son como una única conexión. Esto es conocido como *multi-hop* (multi-Salto). Sin embargo, esto crea incluso retardos mas grandes, ya que se acumula el tiempo necesario para enrutar y luego retransmitir desde un AP a otro. Para aplicaciones de voz, el retardo generado por el trayecto de ida y vuelta sería excesivo para cualquier tipo de arquitectura que contenga más de un salto.

A continuación se muestran dos posibilidades para operar una red de malla SOHO:

- Modo frecuencia única: los puntos de acceso no están en modo dual y pueden soportar una sola frecuencia de operación desde un AP a otro AP y desde un AP a un cliente/subscriptor.
- Modo de frecuencia dual: los puntos de acceso son de frecuencia dual, soportando dos enlaces separados en dos frecuencias separadas simultáneamente.

El modo de “frecuencia única de operación” es compatible con las anteriores tecnologías para APs de frecuencia única, pero esto es sumamente ineficiente ya que la cobertura provista por todos los APs en una WLAN esta sobrepuesta (traslapadas las celdas). Cualquier comunicación iniciada por un AP o un subscriber puede interferir con cualquier otra comunicación. Bajo las peores condiciones, el rendimiento es reducido en $1/(N+1)$ donde N es el número de APs repetidores/malla ligados a un AP.

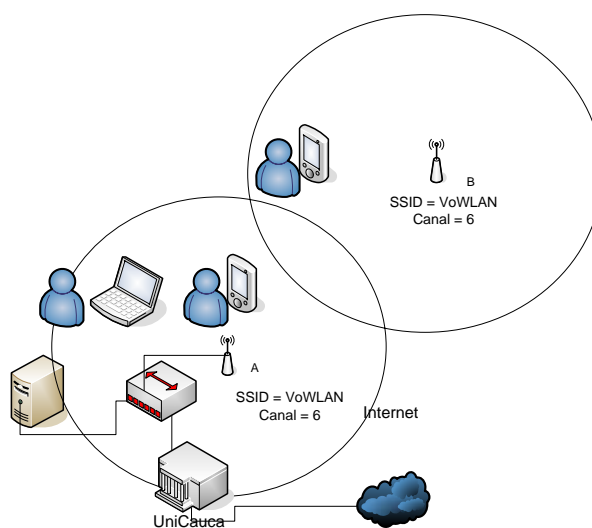


Figura 14. Configuración Modo de frecuencia única de Operación

El modo de “frecuencia dual” requiere que todos los puntos de acceso soporten dos frecuencias simultáneamente. Por lo tanto, 802.11a (5 Ghz) sería usada por el backbone de comunicaciones de AP a AP mientras la comunicación de un AP a subscriber debe ser suministrada por 802.11b/g (2.4 GHz). Usando la frecuencia de 2.4GHz para la cobertura del subscriber se garantiza soporte por bajo costo y herencia 802.11b clientes/subscriptores. Porque 3 frecuencias independiente de 802.11b/g están disponibles en la banda de 2.4GHz, WLANs diseñadas con un AP primario y uno o dos APs repetidores actualmente mejoran la cobertura de la residencia. Dicho de otra forma, siempre y cuando 3 APs estén implementados, el área de cobertura es más grande y el rendimiento será consideradamente mayor sin interferencia RF entre los APs.

La configuración del Modo Frecuencia Dual se muestra en la figura 15:

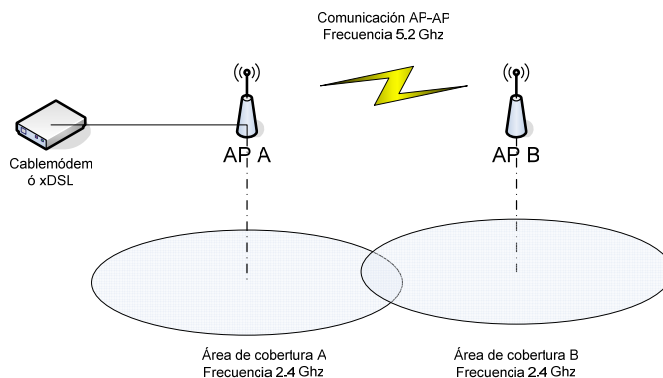


Figura 15. Configuración Modo de frecuencia Dual

La arquitectura de repetidor en malla tiene otros beneficios, ya que se mejora la relación señal a interferencia (S/I) porque la arquitectura garantiza que los subscriptores estén regularmente cerca de los Puntos de Acceso. Esto a su vez asegura mejorar el margen de acceso.

2.2 Nivel de Enlace de Datos

Hoy en día, Internet provee principalmente servicio de máximo esfuerzo (Best Effort Service). Debido a que Ethernet es la tecnología de acceso LAN más difundida, es muy importante proveer un mecanismo de calidad de servicio. Puesto que se está trabajando la voz en entornos empresariales, es importante mirar la conmutación que se da al interior de ésta. Hay esfuerzos a nivel global que proponen volver Internet una gran red LAN, por medio de la conjunción de varias soluciones, pero en este proyecto se limitará el QoS a nivel MAC localmente (LAN). Es muy importante también conocer los esfuerzos enfocados a dar calidad de servicio a nivel MAC para redes inalámbricas, la información referente a QoS a nivel de enlace de datos se puede consultar en el Anexo D.

2.3 Nivel de Red

Si la solución va abarcar la interconexión de sedes empresariales en diferentes ciudades, se hace necesaria la priorización de paquetes a nivel IP. La implementación de un sistema de VoIP sobre WLAN en un entorno empresarial trae consigo muchos beneficios,

uno de ellos el ahorro en larga distancia y precisamente como las distancias son más largas los retardos también lo son. Las redes IP fueron diseñadas para el transporte óptimo del tráfico de datos, por lo que la Calidad de Servicio (QoS) requerida en las mismas se basó únicamente en la integridad de los datos, esto es, no pérdida de contenido y ni secuencialidad de los mismos. En este sentido IP fue concebido, es decir, para “mover” por la red, de forma óptima y segura, tráfico sin requerimientos de tiempo real. Para esto el servicio que brinda IPv4 es del tipo “Best-Effort”. Por otra parte, el tráfico de audio y vídeo no solo requiere ser transferido por las redes IP de forma íntegra, sino que además requiere ser transferido en el tiempo adecuado, al “ritmo” adecuado, en correspondencia con la cadencia que es generado. En consecuencia, la QoS en relación con el tráfico que tiene requerimientos de tiempo real necesita considerar otros parámetros de calidad, tales como la latencia (retardo y jitter) y el ancho de banda. Dados estos requerimientos de QoS impuestos por el tráfico con características de tiempo real, como es audio y el vídeo, se necesitan mecanismos de señalización que propicien tener bajo control dichos parámetros de calidad, y dar garantía de QoS .

Hasta ahora dos mecanismos de señalización para QoS predominan para VoIP: Servicios Integrados y Servicios Diferenciados, los cuales se pueden consultar en el Anexo E.

2.4 Protocolo de Señalización SIP

SIP es un protocolo creado por el IETF (Internet Engineering Task Force) y se encuentra especificado en el RFC (Requests for Comments) 3261. Su propósito es transportar la señalización de comunicaciones de voz y video a través de una red de conmutación de paquetes. Utiliza unos patrones para definir una lógica de intercambio de mensajes de cara a realizar una serie de funcionalidades que se consideran importantes para posibilitar que varios usuarios en Internet sean capaces de transmitir y recibir flujos de voz y video. En la figura 16 se puede observar la ubicación de SIP en la pila de protocolos. Una implementación SIP debe ser capaz de trabajar a nivel de transporte TCP/IP, tanto con TCP como con UDP, si bien el RFC se recomienda el uso de UDP por motivos de eficiencia en las comunicaciones y por el hecho de que no es necesario controlar la pérdida de mensajes a nivel de transporte ya que SIP posee un control propio.

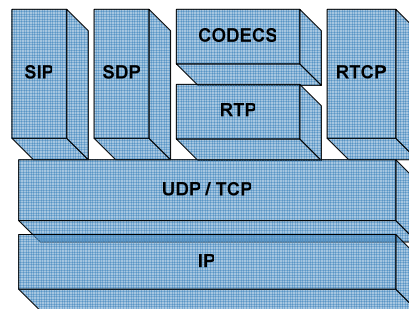


Figura 16. SIP en la pila de protocolos

Hay que destacar que el intercambio de información de los flujos de voz y video no viaja sobre el protocolo SIP, si no que para su transmisión se utiliza un protocolo de transporte de información de tiempo real, típicamente Real Time Protocol (RTP). Dentro de la especificación de RTP se incluye la definición de Real Time Transport Control Protocol (RTCP) para la supervisión de la calidad de servicio durante la transmisión. Otra entidad que aparece en esta pila son los códecs, los cuales se trataron en el primer capítulo, y que son necesario para adaptar los flujos de audio y video a un determinado formato. SIP únicamente interviene para señalar la conversación y para realizar la gestión previa entre los usuarios mediante la cual estos se intercambian información de configuración de los dispositivos, de los códecs que se van a utilizar, de la conectividad, etc., necesarios para que la comunicación se realice satisfactoriamente mediante SDP (Session Description Protocol).

Las invitaciones SIP usadas para crear sesiones llevan descripciones de sesión que permiten a los participantes ponerse de acuerdo en un grupo de tipos de medios compatibles. SIP hace uso de elementos llamados “Servidores Proxy” para ayudar en las peticiones de enrutamiento a ubicaciones actuales de usuario, autenticar y autorizar usuarios para usar los servicios, implementar políticas de enrutamiento de llamada de proveedor, y proveer características a usuarios. SIP también tiene una función de registro que permite a los usuarios registrar su ubicación actual para el uso de los servidores proxy. SIP corre “encima” de varios protocolos diferentes de transporte (como TCP y UDP), pero lo más común es que funcione sobre UDP.

SIP es muy parecido a HTTP, los mensajes consisten de encabezados y cuerpo del mensaje. Los cuerpos de mensaje SIP para llamadas telefónicas son definidas en SDP-Session Description Protocol.

SIP es un protocolo basado en texto que usa codificación UTF.

- SIP usa el puerto 5060 tanto para UDP como TCP. SIP puede usar otros protocolos de transporte.
- SIP ofrece todas las potencialidades de la telefonía común, características como:
 - transferencia de llamada
 - conferencia de llamada
 - llamada en espera

Mientras SIP es un protocolo flexible, es posible adicionar más características y mantener la interoperabilidad. Este también permite trabajar desde NAT o restricciones firewall. El protocolo SIP define varios protocolos:

Métodos SIP definidos en el RFC SIP (3261)

- Método SIP Invite: invita a otra UA a una sesión.

Cuando un UAC decide iniciar una sesión (por ejemplo: audio, video o un juego), este formula una petición INVITE. La petición INVITE pide a un servidor establecer una sesión. Esta petición puede ser reenviada por proxies, eventualmente llegando a una o más UAS (User Agent Server) que pueden potencialmente aceptar la invitación. Estas UASs necesitarán frecuentemente preguntar al usuario acerca de si acepta o no la invitación. Después de algún tiempo, los UASs pueden aceptar la invitación (entendiendo que la sesión ha sido establecida) enviando una respuesta 2xx.

Si la invitación no es aceptada, una respuesta 3x, 4xx, 5xx o 6xx es enviada, dependiendo la razón por la cual no se acepta la invitación. Antes de enviar la respuesta final, la UAS

puede también enviar una respuesta provisional (1xx) para notificar el UAC del progreso en contactar el usuario llamado.

- Método SIP Invite Re-Invite

Esta modificación puede involucrar cambio de direcciones o puertos, adicionando un flujo de medios, eliminando un flujo de medios, y situaciones similares. Esto se logra enviando una nueva petición INVITE dentro del mismo dialogo que estableció la sesión. Una petición INVITE enviada dentro de un dialogo existente es conocido como una petición re-INVITE.

Hay que resaltar que un simple re-INVITE puede modificar el dialogo y los parámetros de una sesión al mismo tiempo.

- Método SIP Register

El registro implica enviar una petición REGISTER a un tipo especial de UAS conocido como un registrar. Un registrar actúa como el *front end* del servicio de localización para un dominio, leyendo y escribiendo mapeos basados en los contenidos de peticiones REGISTER. Este servicio de localización es, entonces, típicamente consultado por un servidor *proxy* que es responsable para ejecutar peticiones para ese dominio.

- Método SIP Ack

SIP implementa tres formas de establecimiento de comunicación (*handshake*)

- El que llama envía un INVITE
- El llamado envía un ACK para aceptar la llamada
- El que llama envía un ACK para indicar que el establecimiento de la comunicación esta listo y una llamada esta siendo configurada.

Si el primer mensaje INVITE incluye una descripción de llamada SDP, el primer Ack incluye el SDP del llamado.

- Método SIP Cancel

La petición CANCEL, como su nombre lo indica, es usado para cancelar una petición previa enviada por un cliente. Específicamente, este le pide al UAS cesar de procesar la petición y genera una respuesta de error a esa petición. CANCEL no tiene efecto sobre una petición a la cual un UAS ya ha dado una respuesta final.

- Método SIP Bye

Esta petición es usada para terminar una sesión específica o intentada. Cuando un BYE es recibido en un dialogo, cualquier sesión asociada con ese dialogo debe terminar. Una UA no puede enviar un BYE fuera de un dialogo. El UA del que llama puede enviar un BYE ya sea por diálogos confirmados así como diálogos tempranos, y el UA del llamado puede enviar un BYE en diálogos confirmados, pero no puede enviar un BYE en diálogos tempranos (early dialogs).

- Método SIP Options

El método OPTIONS permite a un UA preguntar a otro UA o a un servidor proxy como si fueran sus capacidades. Esto permite a un cliente descubrir información acerca de los métodos soportados, tipos de contenidos, extensiones, códecs, etc. sin timbrar la otra parte.

Métodos extensiones SIP de otros RFCs

- Método SIP Info RFC2976

El intento de este método es permitir llevar información de control relacionada a la sesión que es generada durante una sesión. Un ejemplo de tal información de control de sesión son los mensajes de señalización ISUP y ISDN usados para controlar servicios de llamada telefónicos.

- Método SIP Update RFC3311

Este método permite a un cliente actualizar los parámetros de una sesión (así como un set de flujos multimedia y sus códecs) pero no tiene impacto en el estado de un dialogo. En este sentido, esto es como un re-INVITE, pero diferentemente este puede ser enviado

antes de que el INVITE inicial ha sido completado. Esto lo hace muy útil para actualización de parámetros dentro de diálogos tempranos.

- Método SIP Message RFC3428

Mensajería instantánea se refiere a transferir mensajes entre usuarios en tiempo-real (casi). Estos mensajes son usualmente cortos, pero no es un requerimiento. IMs (Mensajes instantáneos) son usados con frecuencia en un modo conversacional, esto es, la transferencia de mensajes vuelve y va lo suficientemente rápido para que los participantes mantengan una conversación interactiva.

Mientras que MESSAGE es una extensión de SIP, este hereda todas las características de seguridad y enrutamiento de ese protocolo. Las peticiones MESSAGE llevan el contenido en la forma de partes de cuerpo MIME. Las peticiones MESSAGE no inician un dialogo SIP por ellos mismos, bajo uso normal cada mensaje instantáneo se para por si solo, así como mensajes pager. Estas peticiones pueden ser enviadas en el contexto de un dialogo iniciado por alguna otra petición SIP.

Tamaño de mensaje: El tamaño de una petición de mensaje que no sea de sesión multimedia no pueden exceder 1300 bytes, a menos que UAC tenga conocimiento positivo del que el mensaje no va a causar un enlace congestionado inseguro en algún salto, o que el tamaño de mensaje es al menos 200 bytes menor que el menor valor MTU encontrado en la ruta a el UAS. Payloads mayores pueden ser enviados como parte de una sesión de medios, o usando algún tipo de contenido indirecto.

Protección de repetición: Para prevenir la repetición de viejas peticiones SIP, todas las peticiones y respuestas MESSAGE marcadas deben contener un campo de encabezado Date cubierto por la firma del mensaje. Cualquier mensaje con una fecha más vieja que varios minutos en el pasado, o el cual es más que varios minutos en el futuro, debe ser respondido con un mensaje 400 (tiempo o fecha incorrecta), a menos que tales mensajes lleguen repetidamente desde la misma fuente, en tal caso ellos deben ser descartados sin enviar una respuesta.

- Método SIP Refer RFC3515

El que recibe refiere a un recurso provisto en la petición. Esto puede ser usado para permitir muchas aplicaciones, entre ellas transferencia de llamada.

- Método SIP Prack RFC3262

Esta petición juega el mismo rol de ACK, pero para respuestas provisionales. Hay una diferencia importante, sin embargo. PRACK es un mensaje normal SIP, como BYE.

Los mensajes que especifica el estándar SIP no son muy elevados en número en comparación con el estándar H.323 que es el que estuvo vigente (y aún lo está) en la mayoría de dispositivos destinados a actuar como clientes de voz y video sobre Internet como teléfonos VoIP, aplicaciones de mensajería instantánea tipo Messenger, etc. En la actualidad con la adopción de SIP en empresas líderes, como Microsoft, Cisco, etc; sumado a la facilidad de uso y extensibilidad lo perfilan como el nuevo protocolo de VoIP predominante. Esta es la razón por la cual se decidió trabajar con SIP en este proyecto. La figura 17 ejemplariza el inicio de una conversación de voz utilizando SIP y que ayuda a observar el intercambio de mensajes entre los dos comunicantes y el servidor SIP.

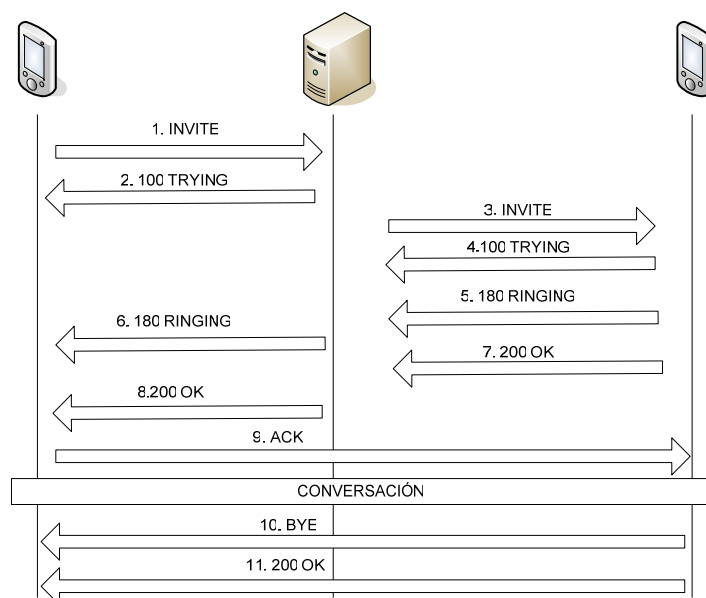


Figura 17. Comunicación SIP

La comunicación SIP de la figura 17 corresponde a un inicio de llamada y a su finalización, ya que la conversación no forma parte del protocolo SIP. Se pueden ver algunos de los mensajes (métodos) que se vieron anteriormente. La conversación en si, se cursa en tráfico RTP o cRTP, y es la parte más relevante en cuanto a análisis de tráfico, debido a que es la que más tráfico genera. Es por ello que en la implementación se trabajará con los valores que obtenidos para una conversación a partir del códec utilizado.

Adicionalmente SIP soporta movilidad IP para aplicaciones de VoWLAN brindando capacidades de handoff en el nivel de aplicación. Este puede hacer uso directo de DHCP (Dynamic Host Control Protocol) cuando se esta conectando a un AP 802.11 y de forma obligatoria a una dirección IP.

Un buen número de sistemas ya propuestos usan DIAMETER o RADIUS como el protocolo AAA (autenticación, autorización y contabilidad). SIP hace uso del concepto de un registrador de visitas (VR) en la red foránea. El SIP VR combina algunas funciones de un servidor Proxy de SIP, servidor de localización y agente de usuario.

El concepto de servidor Proxy SIP le permite a SIP manejar ambas funciones, el "firewall" y la traducción de las direcciones de red (NAT), las cuales son muy influyentes en la topología de red para localizar los usuarios.

SIP fue inicialmente diseñado para soportar roaming (por ejemplo, movimiento dentro de un dominio mientras la conexión esta estableciendo y desactivando el servicio) así que un usuario puede ser encontrado independientemente de la localización y el dispositivo de red con el cual este conectado. Por ejemplo, con SIP una llamada en un teléfono portátil puede ser transferida al teléfono SIP de computador. SIP esta siendo modificado para soportar movilidad así como aplicaciones de roaming.

Como se vio en el primer capítulo, la necesidad de micromovilidad y macromovilidad puede ser tratada ya sea con IP Móvil o SIP. En este proyecto se decidió trabajar con SIP, entre otras cosas, por la necesidad de un entorno simulado muy complejo del cual no

se cuenta en el momento. Sin embargo la mejor solución es la referente a IP móvil. Con SIP, el agente foráneo de IP Móvil es remplazado por un VR de SIP en la red foránea. El agente Home (HA) de IP Móvil es remplazado por un registrador “home” (HR) de SIP. El HR de SIP es una combinación de un servidor Proxy SIP, un servidor de localización y un servidor de agente de usuario (UAS). El siguiente diagrama ilustra una red SIP:

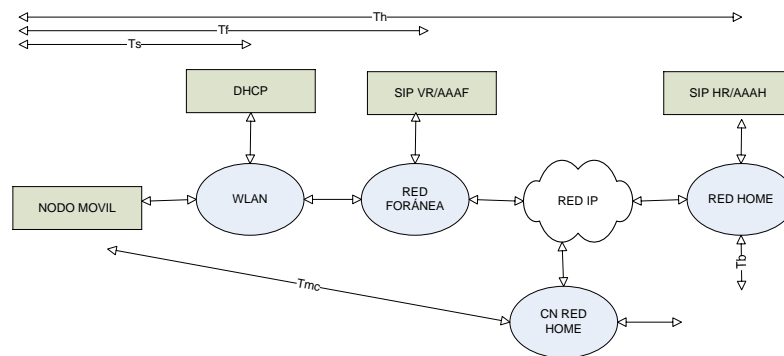


Figura 18. Movilidad en una red SIP

Los elementos en este tipo de red son definidos:

Mobile Node: llamante (persona que llama) de VoIP

DHCP: Dynamic Host Control Protocol

AAAF: Autenticación, Autorización, Contabilidad – Red Foránea (Radius)

SIP VR: registrador visitado

SIP HR: Registrador Home

AAAH: Autenticación, Autorización, Contabilidad – Red Home

CN: Nodo Correspondiente (la red a la que un nodo llamante es asociado)

Caller Node: Otro llamante telefónico

Cuando los llamantes de VoIP están en sus redes caseras o una red empresarial independiente que tiene implementada micromovilidad basado en SIP, el VR es removido y reemplazado por un HR (registrador home). Esto se muestra en la figura 19:

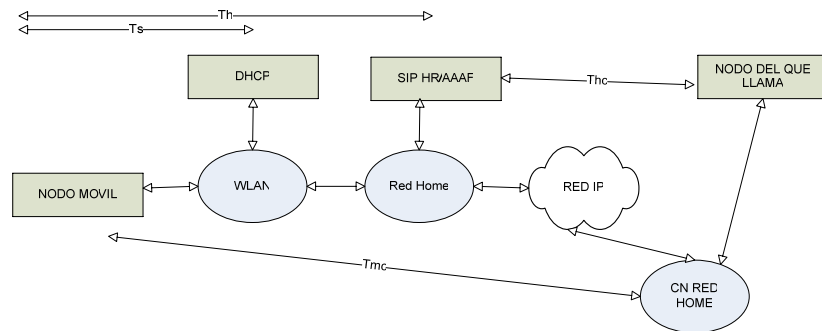


Figura 19. Micromovilidad basada en SIP

Una de las principales diferencias entre IP Móvil y SIP es el uso de DHCP por los APs de 802.11. DHCP dobla el número de transacciones requeridas para asociarse a un punto de acceso. También requiere que el cliente ejecute un ARP (Address Resolution Protocol) para detectar direcciones duplicadas en la subred. La ventaja de DHCP es que no hay modificación a la red local que es requerida.

Mientras haya menos diferencia entre IP Móvil y SIP, los procedimientos como el handoff serán en esencia idénticos. SIP tiene la ventaja de usar la red IP existente sin modificación, pero esto se da con una introducción adicional de retardos que viene a ser el doble de los que se presentan con IP Móvil en un ambiente de macro movilidad. En micromovilidad estos tiempos no son tan relevantes. Sin embargo, y como se mostró desde el principio, el primer paso es vencer el problema de micromovilidad.

Ante esta ventaja, SIP esta siendo soportado completamente por el ambiente Windows, haciendo posible de esta forma, un rápido desarrollo en el mercado residencial y SOHO. SIP sufre por retardos que pueden duplicar los de IP Móvil. En una red más grande, estos retardos rápidamente se convierten en inaceptables.

Para aplicaciones de VoIP sobre telefonía inalámbrica en la residencia e incluso en implementaciones empresariales, el retardo en SIP es insignificante y su facilidad de integración facilitará en gran medida la introducción del producto.

3. PROTOTIPO PARA EL ENTORNO EMPRESARIAL

Ya todo está dado para hacer el planteamiento del prototipo experimental de VoIP sobre WLAN para entornos empresariales. Se han analizado los problemas y aspectos más importantes de cada una de las tecnologías involucradas en la implementación de un sistema de VoWLAN, planteando posibles soluciones a estos. Además, se han hecho las recomendaciones a tener en cuenta para el diseño de una red de datos que soporte correctamente el sistema, tanto a nivel de calidad del servicio como lo referente al diseño de la parte RF. A continuación, se va a definir un escenario sobre el cual se trabajará y se harán los cálculos respectivos. Debido a que no se contaba con los elementos necesarios para realizar un prototipo que solventará todos los problemas anteriormente expuestos, adicionalmente, se realizó el planteamiento de un sistema óptimo con el fin de que en un futuro se puedan seguir los estudios de VoWLAN y se aprovechen los estándares de calidad de servicio y soporte multimedia que están a punto de ser ratificados, así como herramientas de código abierto que están madurando rápidamente en lo que se refiere a *firmware* en redes inalámbricas. Sin embargo aún sin tener todos los requisitos que aparecen en el capítulo 2, el prototipo experimental dio resultados satisfactorios, lo que permite determinar “a priori” que con las mejoras es perfectamente viable este tipo de implementación.

Como ya se mencionó, la estimación o consideración de QoS en una red involucra modificaciones y mejoras en cada nivel de la arquitectura; para una red que ya está funcionando y que inicialmente fue diseñada para un tráfico sin capacidades de QoS, se aconseja reconsiderar todos los aspectos tratados anteriormente para que permita manejar clases de tráfico. Aislados de esa realidad, y con el objetivo de realizar un ejercicio académico que permita hacer observaciones, mejoras y sobre todo QoS (hasta donde los equipos disponibles para el trabajo lo permiten), se realizó una configuración que bien podría ser la instancia de una red cualquiera. Es por esto que en el escenario se toman consideraciones de capacidad, cobertura y tráfico reales, todo analizado dentro del peor de los casos, ya que se debe garantizar QoS para el servicio de voz.

3.1 Definición del escenario empresarial

A continuación se define el escenario empresarial con el cual se va a trabajar. Debido a que todos los conceptos anteriormente expuestos van dirigidos a implementaciones de gran magnitud, no tendría sentido definir un entorno pequeño (SOHO) en el cual no se alcancen a ver todos los problemas inherentes a VoWLAN. Por esto se definió como escenario una empresa grande, a la cual se le analiza solamente una porción con la ayuda de simuladores y clientes reales tal y como se verá más adelante. La definición del escenario empresarial cuenta con un dimensionamiento espacial en el cual se muestra el número de empleados, dimensiones de la empresa, utilización de las redes de voz y datos; así como la definición del escenario tiempo que indica las costumbres de los usuarios y como se distribuye el tráfico y recursos de la red entre ellos.

3.1.1 Escenario Espacial

Los valores correspondientes al número de empleados, dimensiones de la empresa y tráfico de voz y datos por empleado fueron supuestos, ya que en Colombia no existe un estudio que se acerque a definir un estándar o una empresa específica de donde se puedan obtener. Los datos fueron supuestos en concordancia con las mediciones realizadas en la PBX de la Universidad del Cauca (Según datos entregados por el Ing. Miguel La Torre) y otros estudios realizados por empresas del sector como Texas Instruments y Cisco Systems. Sin embargo, la empresa encargada de realizar los estudios del entorno para adaptar los sistemas a condiciones reales es Cintel, pero en el momento no tienen ningún estudio al respecto.

- Espacio de Oficinas 100 mts x 50 mts, es decir, 5000 metros cuadrados.
- 500 empleados trabajando en esta área, para una densidad de población de 0.10 empleados por metro cuadrado.
- Estos 500 empleados generan un tráfico de voz y datos distribuidos de la siguiente manera:

- El tráfico de Background se tomará de 20 Kbps de bajada por usuario, con base en valores aproximados de una empresa con el número de usuarios indicado en la hora pico.
- En promedio, un usuario usa la PBX o el teléfono interno 10 minutos por hora, generando un tráfico de 0.17 Erlangs. Por lo tanto, los 500 empleados tienen 17% de posibilidad de usar o de activar una conversación en un determinado tiempo, considerado lo anterior, hay en promedio 83 llamadas activas en cualquier momento dado.

3.1.2 Escenario Tiempo : Ya definido el escenario espacial, se debe hacer un análisis de los tiempos de ocupación de la red para tener una base real de los datos, y la forma de distribución del tráfico y de los recursos de la red entre los usuarios.

La voz es el principal servicio en este modelo. Sin dejar de lado la inclusión de tráfico de datos como un “*background*” del sistema. No se consideran modelos probabilísticos para el comportamiento del tráfico y de los usuarios, ya que mientras no se tenga un caso totalmente real, estas medidas corresponden a un comportamiento totalmente aleatorio, por ejemplo:

- La distribución espacial de los empleados en el escenario, aunque se podría presentar congestión en determinadas áreas como pasillos, esto puede generar la sobrecarga en un AP determinado por el incremento de usuarios en dicha área. Este es un tipo de comportamiento que no se podría predecir en un ejemplo estandarizado, solo en el caso particular de una empresa, en la que en áreas como cafetería y otras de gran afluencia de usuarios, se planifiquen para una extensión de capacidad extraordinaria.
- Predecir, anticipar o ajustar el comportamiento del tráfico generado en una empresa por todos sus usuarios o situar el área con mayor concentración de tráfico interno y de Internet, se convierte en un estudio arduo y sólo ajustado a las características propias de cada empresa. El tráfico también depende de las restricciones de la red en cuanto a contenidos de Internet para evitar descargas que afecten notoriamente el ancho de banda, disminuyendo el rendimiento. El tráfico de datos está representado en :

- Transferencia de archivos
 - Web
 - Correo electrónico
 - Servicios per-to-per
- El comportamiento de los usuarios en cuanto a hora y tiempo de acceso, la hora del establecimiento de una llamada, y su duración, son unos de los factores más importantes para dimensionar la red y disponer de los recursos. Aunque si bien esta medida también hace parte de un comportamiento impreciso, se ajusta mas a un patrón de densidad de tráfico dependiendo de la hora y duración de las llamadas, sobre todo, la discriminación entre el tráfico interno y el saliente. También depende de cada empresa, identificar las áreas físicas donde hay mayor concentración de tráfico de voz. Normalmente dependiendo el tipo de empresa se tiene diferentes horas pico. Más información al respecto se encuentra en el Anexo A.
 - El número de llamadas por AP, es un factor determinante que se obtiene a partir de la práctica debido al comportamiento y funcionamiento real de los dispositivos.

Concluyendo, todos los factores predominantes en la evaluación de la capacidad del AP en número de llamadas, serán medidos tomando el peor caso de tráfico. Para eso se introduce en el la red inalámbrica tráfico generado por aplicaciones que permiten ajustar las características de éste al tráfico real, tanto de datos como de voz. Por medio de mediciones como el *jitter*, paquetes perdidos y ocupación del BW del AP, se determina el número de llamadas posibles sin dejar de cumplir con las exigencias de calidad, fiabilidad y legibilidad de la comunicación de voz.

En el caso de una implementación real, tendría sentido considerar las gráficas probabilísticas acerca del los hábitos de consumo en llamadas, descargas de Internet, horas y distribución física del tráfico, para ajustar los recursos dispuestos y realizar una optimización del tráfico por medio de la prioridad, de esta forma se podría estimar el ancho de banda que emplearía la distribución del posible número de usuarios o servicios. El tráfico de voz generado por los usuarios en una conversación telefónica, no es discriminado, ya que, los equipos con los que se dispone para el prototipo no soportan

QoS, todo el tráfico generado desde y hacia los APs será tratado como tráfico de datos sin ningún tipo de priorización. En caso de contar con productos certificados WMM se podría obtener un mejor resultado en cuanto a retardos y un mayor manejo del tráfico cursado en la red.

3.1.3 Descripción de los Usuarios: Los usuarios de un ámbito empresarial, cursan tráfico correspondiente a transferencia de archivos, correo electrónico, cola de impresión, Web y el más importante en este caso, el tráfico de voz.

Así mismo estos disponen de equipos Móviles portátiles, teléfonos IP fijos e inalámbricos, Pocket PC y Computadores de escritorio. Para el modelo se incorporan a la red equipos de apoyo para generar tráfico de voz y background de datos que permita la simulación de condiciones reales del entorno.

Como ya se mencionó, el tráfico pesado es evitado para librar de una carga innecesaria a la red inalámbrica. Además, en las condiciones de una empresa real, este tráfico por lo general es restringido por el Proxy de la red. Esto sería innecesario hacerlo en caso que se tuvieran equipos con priorización de tráfico.

Los usuarios pueden estar en constante movimiento, cumpliendo con uno de los objetivos de una WLAN, la movilidad y el establecimiento de la comunicación en todo lugar y momento.

3.1.4 Planeamiento por AP

Se determinó que son 500 empleados en un área de 5000mts cuadrados, esta área estará cubierta por 7 APs (Esto debido a análisis de cobertura y capacidad), por lo tanto cada AP va a atender aproximadamente 70 usuarios. Las horas de mayor congestión se tomaron de acuerdo al comportamiento de la PBX de la Universidad del Cauca.

- Número de usuarios por AP : 70 usuarios (bajo condiciones sin QoS a nivel MAC)

- Margen de tiempo de 10-11 am y de 3-4 pm, horas de mayor congestión
- Ancho de Banda disponible por AP es 54Mbps, pero BW efectivo depende del número de estaciones. En estudios realizados por la empresa Texas Instruments el BW efectivo corresponde al 37% (aprox. 20Mbps) del entregado por el AP cuando está atendiendo a tope de su capacidad de usuarios y sin DCF Mejorada para acceder al medio.
- Área de Cobertura del AP: 700 metros cuadrados.
- Frecuencia de Operación del AP la banda de 2.4GHz
- Canal de Operación :1, 6 ó 11

3.1.5 Modelo de trabajo: Todos los cálculos se hicieron bajo condiciones del peor caso experimental. En un momento dado, en la hora de mayor congestión, se pueden presentar varios casos, donde el tráfico de voz, como el de datos van a tener igual importancia a la hora de afectar las características de la llamada. Por lo tanto y para trabajar en el peor de los casos, la carga que estará cursando el AP será máxima debido a las características del entorno que se planteó.

3.1.6 Medidas Indicadoras del Rendimiento

- Retardo
- *Jitter*
- Paquetes perdidos: para cuantificar el rendimiento de la voz.

$$Pp = 100 \cdot (1 - [Ptx / Prx])$$

Pp= paquetes perdidos Ptx = paquetes transmitidos Prx = paquetes recibidos

- Consumo de Ancho de Banda

Valores límites: Una conversación de voz tolera del 2% al 3% de paquetes perdidos y 200 ms de retardo en un solo camino, de acuerdo a los conceptos expuestos en las secciones 1.1.1. y 1.1.6 .

3.2 Plan RF

Debido a que el alcance de este proyecto no está enfocado a la ubicación de APs, y muchas consideraciones a tener en cuenta para lograr cubrimiento de un área específica⁶, se supondrá el radio óptimo, escogido y medido de acuerdo al mantenimiento de las tasas de velocidad más altas que puede ofrecer, así el radio es de 15 metros. De acuerdo a la teoría abarcada en el capítulo anterior, se entiende que la mejor opción sería trabajar con APs 802.11a, debido a que permite hacer arreglos de 7 celdas, lo cual reduce el efecto de interferencia co-canal. En consecuencia, se debería hacer un diseño de cubrimiento empresarial basado en celdas de 7 APs para cubrir la totalidad del entorno. Si se analiza esto en términos de capacidad, se obtiene que cada AP atendería aproximadamente 70 personas en el peor de los casos, que están distribuidas uniformemente por el área de análisis para el escenario definido anteriormente. De acuerdo al estudio de capacidad realizado (sección 3.4), el AP puede atender a todas estas personas, sin embargo, los estudios de tráfico que se realizaron sobre la red, son los que en últimas dieron la razón en cuanto a la capacidad asignada a cada AP, ya que todo depende de los niveles de tráfico que puedan llegar a cursar los usuarios.

En este prototipo se ha tenido que trabajar con APs basados en el estándar 802.11g, debido a que eran los recursos que se tenían para esto, por otro lado los APs basados en 802.11b han sido descartados por la evidente necesidad de ancho de banda. Se trabajará con los canales 1 – 6 – 11 para cubrir un área extensa utilizando la reutilización de canales tratada en el capítulo anterior para evitar así, la disminución del rendimiento del sistema.

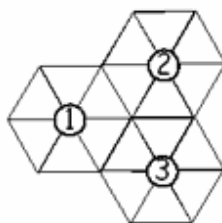


Figura 20. Distribución de APs

• ⁶ Para estas consideraciones, se recomienda tener en cuenta el trabajo de grado "Análisis y diseño de una red inalámbrica bajo las normas IEEE 802.11 para el campus de ingenierías-sector Tulcán" - Marta Vera y Hernán Bravo. Director. Ing. Pedro Vera Vera

A continuación se muestra la tabla 7, con la configuración de los APs en los canales y sus respectivas frecuencias de trabajo, con un espaciamiento de 25 MHz entre cada canal.

Tabla 7. Relación entre canales y frecuencias usados en el prototipo

Canal	Frecuencia
1	2412 MHz
6	2437 MHz
11	2462 MHz

La distancia o radio efectivo de trabajo de los APs también se ha reducido para incrementar el número de clientes (capacidad) y tener un mejor rendimiento y mayor velocidad de datos en el medio inalámbrico. Debido a esta cercanía de los dispositivos móviles a los APs es que no se consideran las pérdidas por la propagación de la señal en el medio. Los APs son configurados en configuración de extensión de la red con SSID = VoWLAN.

3.3 Descripción del Montaje

En la construcción de un prototipo ideal, hay dos caminos a tomar: uno es el de los sistemas propietarios y el otro aunque no tan robusto como los anteriores, estaría basado en estándares asegurando así la compatibilidad y escalabilidad de sistema con dispositivos de red de diferentes fabricantes. A continuación (figura 21), se presenta el diseño ideal del segundo, pues no tiene sentido explicar un sistema propietario, debido a que son diseñados para trabajar entre dispositivos fabricados por la misma empresa y difieren mucho entre un sistema y otro. Adicionalmente, debido a que son sistemas propietarios la información encontrada al respecto es la referente a su funcionamiento, más no acerca de las técnicas que utilizan para hacer estas mejoras. Enseguida se listan los elementos a tener en cuenta para la configuración del sistema óptimo (ideal):

- Pocket PC y Portátiles de alta capacidad de procesamiento con tarjetas wireless con soporte para WPAv1 y software VoIP cliente con soporte para códec G.729 y G.723.1. Se aconseja el *collaboration agent* y el *mobile collaboration agent* de

SipQuest. En el caso de los computadores estáticos, la tarjeta de red debe soportar 802.1p para priorizar el tráfico de voz generado en ellos.

- APs, con soporte de WPAv1 configurado con el servidor radius. Equipos certificados WMM.
- Conmutador con soporte de 802.1p para priorización de tráfico.
- Servidor de telefonía IP con procesador INTEL, para poder soportar las primitivas del códec G.729 y G.723.1 (IPP, integrated performance primitives) mejorando así el consumo de ancho de banda sin degradar la calidad de la voz.
- Software *SIPquest VoWiFi Fast Handover*. Este cliente software reside enteramente en el teléfono/PDA/pocket PC y permite a los usuarios de la empresa transitar en un ambiente de puntos de acceso inalámbrico de diferentes fabricantes con menos de 10ms de handoff. Esto es muy apropiado pues no obliga al sistema a “casarse” con un solo proveedor.
- Los puntos de acceso inalámbrico deben ser 802.11a para realizar una distribución de celdas como la que se muestra en la figura 21 evitando así la interferencia cocanal. Otra ventaja de trabajar con esta tecnología es que no tiene el inconveniente que se presenta con los dispositivos inalámbricos que trabajan en la banda de 2.4Ghz, evitándose así las interferencias con teléfonos inalámbricos, computadores, y otros elementos comunes en las oficinas que pueden malograr las comunicaciones.
- Los teléfonos IP inalámbricos son una muy buena opción, pero algo costosa. Adicionalmente estos teléfonos por lo general traen soporte de una gran variedad de códecs, y manejos especiales que el fabricante incluye para que trabajen con módulos adicionales o APs propietarios, sin embargo, estos teléfonos IP funcionan correctamente incluso con PBX de voz sobre IP de código abierto.

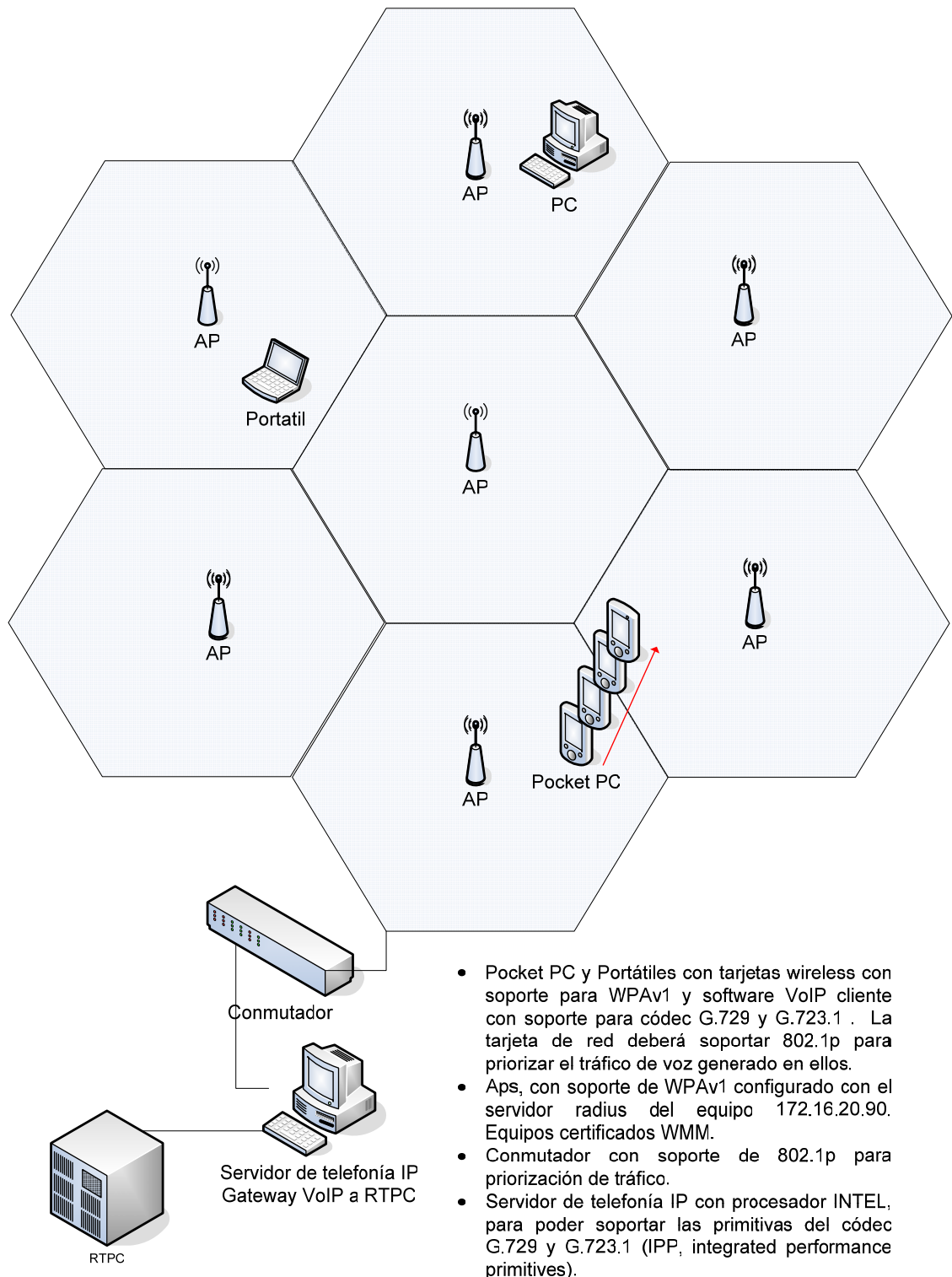


Figura 21. Prototipo Experimental ÓPTIMO de VoWLAN para entornos empresariales

Lo anterior, es el esquema ideal en el que se muestran la forma de realizar el sistema empresarial, sin embargo, para efectos de obtener el prototipo experimental y poder concluir viabilidades aún sin contar con mejoras en QoS , velocidades altas, se desarrollo el siguiente prototipo experimental de Voz sobre WLAN para entorno empresarial con los elementos que se tenían.

Hecha una abstracción del entorno descrito anteriormente, se realizó una instancia de una parte de la red conformada por 3 de los APs, teniendo así un fragmento de la red para experimentación.

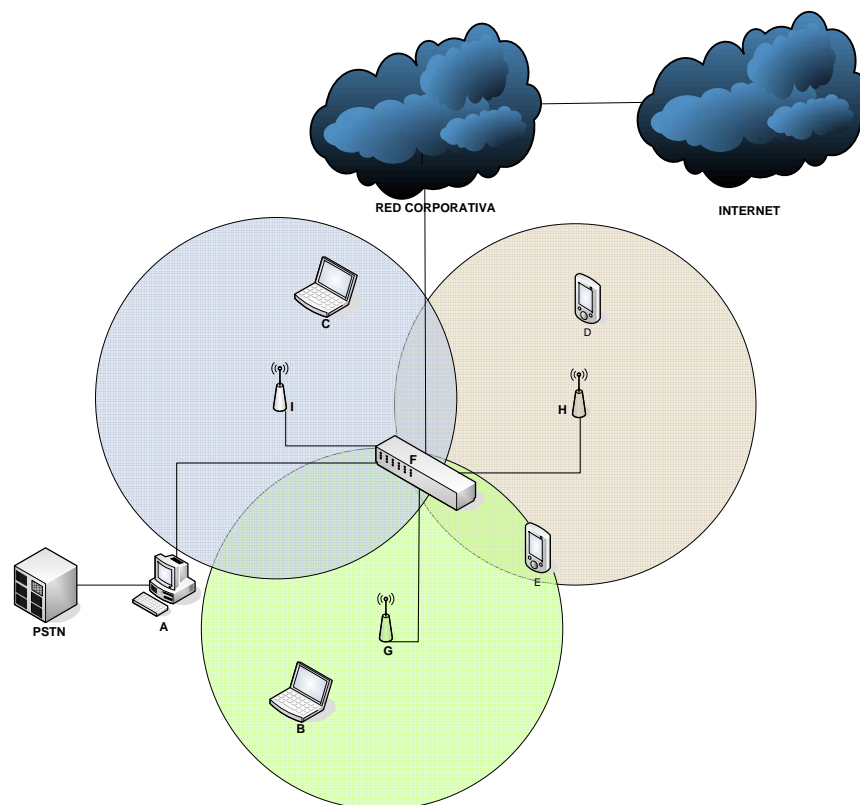


Figura 22. Prototipo Experimental VoWLAN para entornos empresariales

En la figura 22 se puede ver el prototipo de pruebas utilizado. Se tienen los siguientes elementos configurados con direcciones IP clase C (172.16.x.x) para estar acorde con el direccionamiento utilizado en redes privadas.

- A. Servidor (Linux Fedora Core 2) con Servidor Asterisk, Servidor Radius para autenticación WPA.1, Ethereal (Analizador de protocolos). Tarjeta Digium FXO (X100P). Generadores de tráfico D-ITG, Iperf.
- B. Portátil Compaq 100S (Windows 98), tarjeta inalámbrica D-link GWL-655, x-lite. Generadores de tráfico D-ITG, Iperf.
- C. Portátil Compaq presario 2100 con tarjeta inalámbrica integrada, Windows XP, x-lite, sjphone, airopoek NX (Trial). Suplicante soporte WPA. D-ITG e Iperf.
- D. Pocket PC Dell Axim X30, Windows 2002pocket. Xlite.
- E. Pocket PC Dell Axim X30, Windows 2003 pocket. Xlite. Suplicante WPA.
- F. Switch Catalyst 2950, con soporte 802.1p, 802.1Q, 802.1D.
- G. Access Point D-Link AP2000+ configurado en el canal 1 (de acuerdo a la planeación RF capítulo anterior). SSID = VoWLAN
- H. Access Point D-Link AP2000+ configurado en el canal 6. SSID = VoWLAN.
- I. Router inalámbrico D-Link DI-624, configurado en el canal 11. SSID = VoWLAN.

La red Ethernet empresarial es representada por un switch de nivel 2 el cual tiene configuradas algunas capacidades de QoS para atender el tráfico de voz, sin embargo estas potencialidades no tienen efecto en el sistema ya que los APs con los que se trabaja no soportan ningún tipo de priorización y por lo tanto, no etiquetan las tramas de voz que van hacia el switch con ninguna prioridad. Sin embargo, esto en una implementación real, tendría muchas ventajas, no solo a nivel de voz sino a nivel de datos. La priorización de tráfico disminuirá los retardos ocasionados por los dispositivos de red y en el futuro, se podrán mapear estas “marcas” entre ambas tecnologías (cableada e inalámbrica) permitiendo un manejo priorizado de fin a fin.

Al switch van conectados los APs y estos atienden el tráfico de voz y datos generado simultáneamente. Para probar la capacidad de un solo AP, 4 computadores y una PDA se conectaron para cursar este tráfico. Uno de los computadores inalámbricos se usó para generar un llamada real a la RTPC ó a otro computador inalámbrico dentro de la misma red, otro para generar tráfico de voz y su correspondiente para recibir este tráfico simulando un determinado número de llamadas, este tráfico fue analizado por este

computador de destino para establecer los indicadores de rendimiento. El último computador conectado inalámbricamente se usó para recibir el tráfico de datos (Downlink) o Background que esta siendo generado por una estación cableada y conectada al conmutador, Simulando a una persona que esta bajando un archivo grande de Internet.

Es conveniente mencionar que la Pocket PC que se utiliza tiene una tarjeta inalámbrica 802.11b (11 Mbps), lo cual repercute en la capacidad del AP debido que para poder atender al usuario 802.11b debe sacrificar de cierta forma la velocidad sostenida con los clientes 802.11g que son todos los anteriormente mencionados, debido a que estas tecnologías utilizan diferente modulación. Por lo tanto este dispositivo solo se usa para pruebas como la comprobación de servicios y el handoff.

Las llamadas telefónicas son atendidas por el servidor de VoIP Asterisk⁷ y la seguridad esta a cargo de WEP, esto debido a que las especificaciones de los equipos con los cuales se trabajó algunos presentaban un rendimiento bajo con WPA y otros no lo soportaban. Inicialmente, se montó WPA en el enrutador D-link DI-624, en el computador Compaq Armada 100S, y en la Axim con Pocket PC 2003 (en esta última se disminuía el rendimiento al límite), sin embargo se observó que el bajo rendimiento de los equipos inducían muchos retardos en las pruebas. Aún así, se recomienda trabajar en una implementación real como mínimo con WPAv1, más información se puede encontrar en el anexo C de seguridad en redes WLAN. WEP provee un margen de seguridad muy bajo, mientras que WPA es mucho mas robusto y adicionalmente tiene ventajas que permiten evitar retardos en cuanto autenticación, puesto que los APs tienen la posibilidad de enviar las llaves de intercambio a otros APs en caso de que el cliente haga roaming.

Para el establecimiento de llamadas a través de Internet el diseño tiene una conexión a través del switch a banda ancha (por medio de la red de la Universidad del Cauca). Y para intercomunicar la red de VoIP con los sistemas de telefonía convencionales como la RTPC, se cuenta con una tarjeta X100P de Digium y una línea telefónica. Según las dimensiones del entorno, sería necesario un canal de comunicación con la RTPC mayor a 4 T1s, pero por motivos de diseño y tratándose de un prototipo, se decidió demostrar esta

⁷ Se amplia información acerca de este servidor de VoIP en la sección 3.4.1

funcionalidad con solo una llamada. En caso de tener un caso real (tráfico saliente en Erlangs para la hora pico y el bloqueo de llamadas que se desea) se utiliza una calculadora de tráfico Erlang B para determinar el número de líneas que se deben adquirir. Para el tráfico de 85 Erlangs (BHT = 0.17Erlangs x 500 usuarios) definido en este escenario se deberán adquirir 101 líneas para garantizar un solo bloqueo por cada 100 llamadas (Blocking = 0.01), en la figura 23 se observa que este número de líneas necesarios puede disminuir si se reduce el bloqueo de llamadas. Esto es muy importante tenerlo en cuenta, pues más líneas significan más dinero. Más adelante se muestra una forma de manejar este bloqueo en términos “jerárquicos”, reduciendo considerablemente la necesidad de líneas telefónicas.

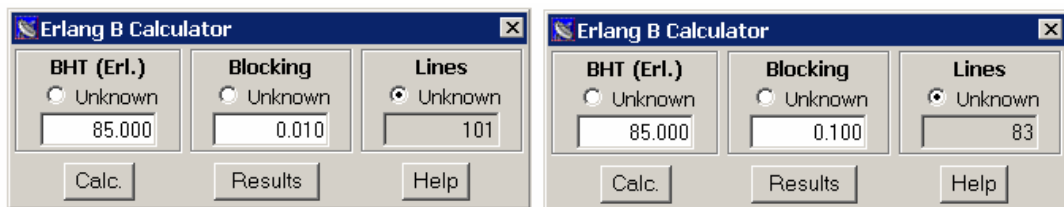


Figura 23. *Calculo de líneas necesarias para el tráfico saliente con diferentes valores de bloqueo de llamadas*

Se tiene que con un AP se puede dimensionar una parte funcional de la red y su capacidad, sin embargo son necesarios otros APs para comprobar la movilidad de los usuarios, es decir, para pruebas y validación de los tiempos en el establecimiento del *handoff*. Por lo tanto el prototipo final se configuró como se muestra en la figura 22.

En la tabla 8 se muestra una comparación entre los dos prototipos, el ideal y el realizado para identificar mejor las mejoras que se pueden conseguir.

Tabla 8. Comparación entre el prototipo ideal y el realizado

Característica	Prototipo Ideal	Prototipo Realizado
Planeamiento RF	APs 802.11a	APs 802.11g
Manejo de Handoff	VoWiFi Fast Handover de SIPquest	--
Códecs soportados	G.729, G.723.1, G.711, GSM	G.711, GSM
Seguridad	WPAv1	WEP
Priorización de tráfico	802.1p y 802.11D	--
Clientes	Alta capacidad de procesamiento	Baja capacidad de procesamiento

3.4 Descripción de los elementos del sistema

A continuación se describe cada uno de los elementos que se incluye dentro del montaje final del prototipo experimental de VoIP sobre WLAN para entornos empresariales.

3.4.1 Servidor de telefonía IP: Este servidor se encarga de manejar todos los servicios comunes de una PBX al interior de la empresa. Existen muchas opciones posibles en el mercado, sin embargo, como uno de los objetivos del proyecto era trabajar en lo posible con software libre, se analizaron las PBX de VoIP más completas que fueran compatibles con el protocolo de señalización SIP como se muestra a continuación en la tabla 9:

Tabla 9. Comparación entre servidores de telefonía IP

	Asterisk	OpenPBX	Bayonne	OnDo PBX
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Muy Completo - Muy Confiable - Es software libre - Tiene muchas opciones de personalización - Diseñado para tener funcionalidad completa PBX - Compatible con Pasarelas VoIP-RTCP - Muy bien documentado - Muchos servicios, y posibilidad de agregar nuevos 	<ul style="list-style-type: none"> - Es software libre - Interfaz amigable - Fácil configuración 	<ul style="list-style-type: none"> - Muy Confiable - Es software libre - Compatible con Pasarelas VoIP-RTCP 	<ul style="list-style-type: none"> - Completa - Soporte - Flexible y opciones de escalabilidad

	Asterisk	OpenPBX	Bayonne	OnDo PBX
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Soporte 	<ul style="list-style-type: none"> - Solo para implementaciones pequeñas - Muy limitado - Soporte 	<ul style="list-style-type: none"> - Configuración compleja - No tiene muchas opciones de personalización - No es diseñado para tener funcionalidad completa PBX - No tiene mucha documentación ni soporte 	<ul style="list-style-type: none"> - No es libre (US\$2000) - No es tan completo como Asterisk

Observando algunas de las ventajas y desventajas de estos servidores de telefonía IP, se observa claramente que Asterisk es el más completo de todos, sin embargo, se deja libre esta elección para futuras implementaciones. El prototipo experimental de VoIP sobre WLAN para entornos empresariales se implemento con Asterisk, y la configuración de éste se muestra en el Anexo B.

En general un servidor de telefonía IP no necesita hardware adicional para el establecimiento de llamadas de VoIP; mientras para interconexión con equipo telefónico análogo y digital, se debe configurar una tarjeta Hardware que soporte T1, E1 ó como este caso en particular, una línea telefónica simple para efectos de estudio. Así mismo, soporta un amplio rango de protocolos TDM para manejo y transmisiones de voz sobre interfaces telefónicas, sin importar si la señalización usada es europea o americana, permitiendo un puente entre la nueva generación de redes integradas de voz y datos con la infraestructura existente.

Como se vio en el capítulo 1, mediante la utilización del protocolo SIP se manejarán los *handoffs*, debido a que el canal "TDM" simulado se mantiene hasta que el servidor termina la llamada. Esto quiere decir que no importa si el *handoff* es muy largo, la conexión seguirá establecida hasta que se envíe un mensaje de terminación de la llamada.

Configuración del plan de llamadas: Como se trata de un entorno empresarial, deberá tomarse en cuenta que no todos los usuarios pueden utilizar los mismos recursos, es decir, deberá haber una jerarquía. Es así como por ejemplo, mientras el gerente puede realizar llamadas internacionales, nacionales, discado directo; un empleado solo podrá hacer llamadas locales, si así lo requiere. Por supuesto, todos podrán hacer llamadas internas.

Para ello se definió un entorno por defecto, en el cual tanto usuarios registrados como los que no lo estén, podrán hacer llamadas internas, es decir, de VoIP. En cuanto a los usuarios, se implementarán tres entornos, así:

Mayores: Discado Directo, llamadas nacionales, internacionales, incluyen los dos siguientes entornos.

Menores: Llamadas locales, incluye el siguiente entorno

Defecto: Solo llamadas SIP (VoIP)

A diferencia de las PBX tradicionales, donde las extensiones están asociadas con teléfonos, interfaces, menús, etc, en este caso una extensión es definida como una lista de aplicaciones (y argumentos) a ser ejecutadas. Cada paso de una extensión es referida a una prioridad. Cada prioridad es generalmente ejecutada en orden, aunque algunas aplicaciones pueden redirigir una llamada a una prioridad diferente. Cuando una extensión es llamada, cada prioridad es ejecutada a menos que la llamada sea colgada, o la llamada sea enrutada a una nueva extensión.

Soporte de códecs: Por lo general los servidores de telefonía IP permiten manejar una amplia variedad de códecs, al igual que personalizar su uso ya sea por usuarios o por grupos. Incluso puede traducir códecs, es decir, que puede conectar una llamada de un cliente que esta trabajando con G.711 y otro con G.729.

Se configuró el servidor para que trabajara con el códec G.711 las llamadas con Pocket PC, pues como se vio en las pruebas, no tienen suficiente procesamiento para codificar las palabras G.723.1 y GSM. A pesar de que estos códecs comprimen más las palabras

de voz, exigen un procesamiento mayor, por lo que los 400Mhz de la Dell Axim X30 no son suficientes y terminan induciendo unos retardos que se hacen más evidentes en la conversación.

Así mismo, es conveniente poner un códec más liviano para los clientes que tienen más procesamiento, como por ejemplo los portátiles o computadores de escritorio. Para estos se recomienda trabajar con el códec GSM o con el códec G.729 siempre y cuando el cliente de VoIP lo soporte y se esté utilizando para fines no comerciales.

Pasarela VoIP-RTPC: El servidor de telefonía IP puede hacer las veces de pasarela VoIP-RTPC si se configura adecuadamente y se le adiciona el hardware necesario. Varias empresas fabrican el hardware mencionado en forma de tarjetas y generalmente son soportadas por el servidor de telefonía IP, las más conocidas son las de Digium y Quicknet. Estas tarjetas tienen una capacidad que puede ir desde una simple línea telefónica (como la que se uso en el prototipo experimental) hasta 4 T1/E1s.

Señalización: Es también muy importante tener en cuenta la señalización que se va a manejar en el sistema. En el caso de este prototipo, no fue muy relevante debido a que se trabajó con una línea RTPC por lo que no fue necesario darle mucha importancia a este aspecto, de hecho se configuró con señalización DTMF dentro de banda. Sin embargo, si se trabaja con E1/T1s se debe tener especial cuidado en la configuración para que no se pierda información de señalización importante.

Servicios: El servidor de telefonía IP soporta los siguientes servicios: Buzón de voz, Parqueo de Llamada, Meetme, Llamada en espera, entre otros.

3.4.2 Clientes Móviles de VoIP: Los dispositivos móviles trabajan con Windows (XP, 2000, 98 y pocket pc 2003, Linux) y como clientes de voz usaron el programa X-lite descrito y especificado posteriormente. Se escogió trabajar sobre Windows debido a que es el sistema operativo más usado a nivel empresarial en el mundo.

Sin embargo, en el caso de contar con una infraestructura de red con capacidades de QoS , no sería muy conveniente trabajar con X-lite puesto que este no saca el tráfico priorizado. En dicho caso el cliente que se recomienda es Windows Messenger, el cual si tiene esta característica.

3.4.3 Generadores de tráfico: A continuación se exponen los generadores de tráfico que se usaron en el montaje y pruebas del prototipo experimental de VoIP sobre WLAN.

Generador de Tráfico de Background: Para generar tráfico de datos se utilizó el programa de distribución libre IPERF. En el generador se especifican las siguientes características:

- Tráfico UDP
- Ancho de Banda en Kbps
- Tiempo durante el cual este tráfico esta presente en la red: 5 minutos, mientras se toman los indicadores y el sistema es estable.

Generador de Tráfico de Voz: Para generar tráfico de voz se utilizó el programa de distribución libre D-ITG e IPERF.

Descripción del tráfico de Voz Generado:

El primer paso es la captura de la voz, el cliente (X-lite) se encarga de codificar en palabras de X número de bytes dependiendo del códec utilizado. Como se discutió en la sección 1.1.13, se decidió trabajar con el códec G.711 por la calidad de sonido que ofrece y el menor procesamiento que requiere el servidor de telefonía IP para enviar tráfico a la RTPC. De acuerdo con los datos de la tabla 2 y la figura 5, se calculó el tamaño del paquete de voz a generar para el códec G.711:

80 bytes (códec G. x 2 muestras + 12 bytes (RTP) + 8 bytes (UTP) + 20 bytes (IP) = 200 bytes por paquete 200 bytes por paquete a 50 paquetes por segundo = 80 Kbps → PCM en una vía 80 Kbps x 2 = 160 Kbps → por que la comunicación es bidireccional
--

- Número de estaciones de voz: **VARIABLE**
- Tiempo del establecimiento del flujo constante: 5 minutos duración promedio para establecer las pruebas.

Analizador de Tráfico: Se usan los programas DITG e IPERF. Se establecen condiciones como:

- Tipo de paquetes: UDP
- Intervalo para los reportes periódicos: cada 10 segundos
- Flujo de bajada hacia la red inalámbrica.

Puntos de Acceso Inalámbrico: Se trabajó con puntos de acceso inalámbrico genéricos, sin certificado WMM de la Wi-Fi Alliance. Actualmente las necesidades de ancho de banda para nuevas aplicaciones ha hecho que las diferentes empresas que fabrican estos dispositivos, empiecen a crear nuevas soluciones “no estandarizadas” para satisfacer al usuario final. Esto no sería necesario de haber una estandarización a seguir, sin embargo, el estándar 802.11e se espera a mediados de 2005. Mientras este llega, ha salido el estándar WMM que busca de alguna forma permitir mejoras de calidad de servicio, sin sacrificar la interoperabilidad entre dispositivos inalámbricos con el sello *Wi-Fi certified*.

3.5 Pruebas y Toma de Medidas

A continuación se mide la capacidad del AP para el soporte de tráfico de voz solo y con tráfico de background, para determinar si es suficiente la capacidad de los APs “genéricos” para VoWLAN. Así mismo, se exponen los resultados obtenidos en las pruebas de micro movilidad, en los cuales se midió el tiempo del hand-off entre APs del mismo fabricante, así como en un entorno multi-proveedor. Finalmente se realizan las pruebas de validación del prototipo.

3.5.1 Capacidad del AP: Se debe analizar el ancho de banda soportado por el AP en cada celda, así como la capacidad del dispositivo. El montaje de las pruebas se muestra a continuación:

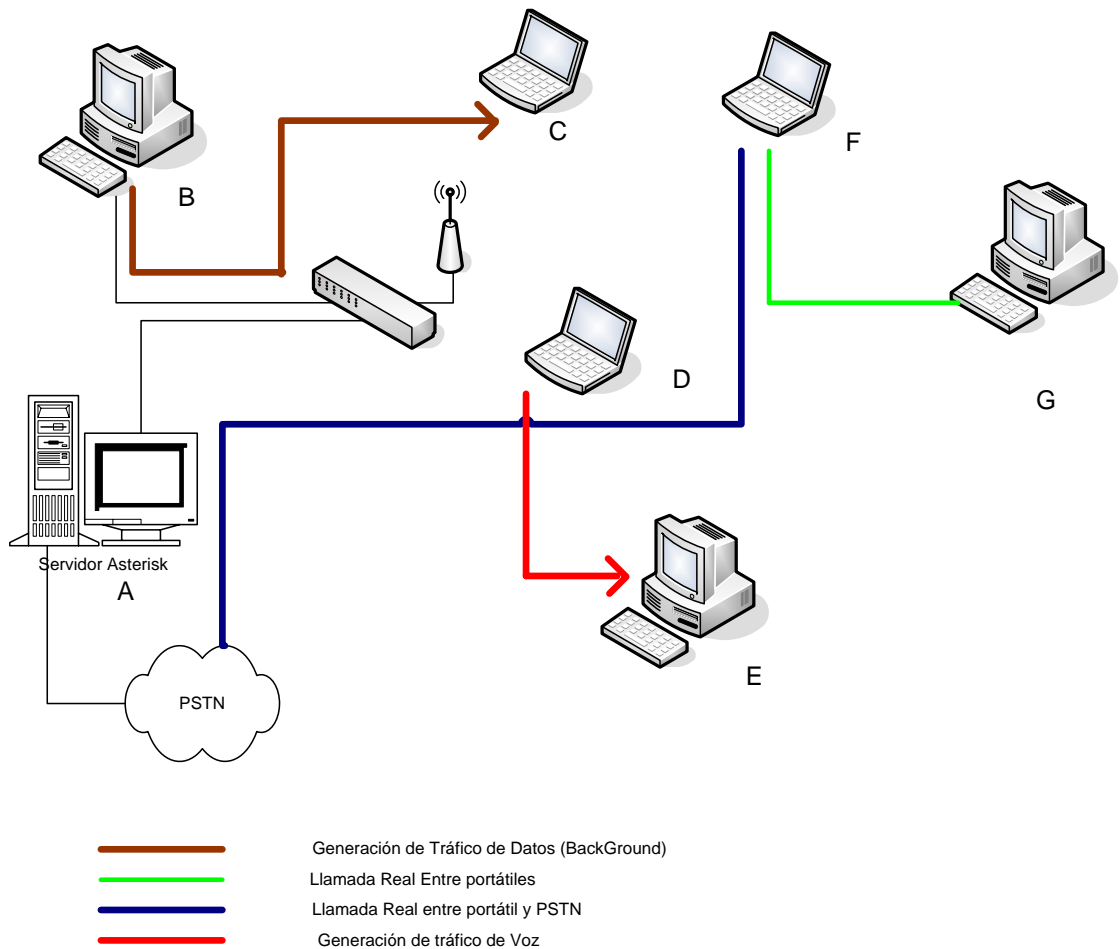


Figura 24. Montaje para medir la capacidad total del AP

Para la generación y análisis de tráfico se utilizaron los programas Iperf y D-ITG, así como ethereal para el observar la congestión generada en la red.

Esta prueba experimental consiste en cargar el AP con solo tráfico de voz, simulando al número de clientes de la red, para medir que capacidad tiene el AP para soportar comunicaciones de voz.

La voz simulada va dirigida al equipo E que recibe y analiza el tráfico, arrojando los indicadores de rendimiento para el análisis de capacidad.

Además, se tienen tres usuarios móviles cursando llamadas reales de voz con el objetivo de ayudar a calificar la calidad de la llamada en términos de legibilidad y comprensibilidad.

Los resultados obtenidos resultan muy satisfactorios, aunque es muy claro que los programas de generación de tráfico no trabajaron tan eficientemente como se pensaba ante la dificultad de crear flujos simultáneos. Por otro lado el rendimiento del AP en cuanto a colisiones y retardos por evasión es muy bueno debido al poco número de estaciones que se disponen para las pruebas. Se observó en estas, que si bien, se simulan los flujos de VoIP con generadores de tráfico, es imposible simular con una sola tarjeta de red inalámbrica la competencia por el medio que se genera en un ambiente real WLAN. Es por esto que se decidió conseguir más equipos para observar este fenómeno.

El porcentaje de paquetes perdidos máximo presentado fue el de 0.71% relacionado al tráfico de voz de 11200 Kbps (70 llamadas), a partir de este momento no se pueden realizar más pruebas con los recursos disponibles debido a la incapacidad de los generadores de ampliar el BW.

En cuanto al retardo máximo (obtenido con el analizador de tráfico Iperf) fue de 95.859223 ms correspondiente a 70 llamadas. Con estos valores muy por debajo del los límites permitidos, se puede garantizar el servicio dentro del entorno de estudio escogido.

Otra medición importante es la calidad y legibilidad de las llamadas reales en curso, las cuales presentaron un desempeño excelente, sin percepción de retardos o vacíos en la comunicación, con un nivel de entendimiento calificado con 5 durante el establecimiento de 5 a 40 llamadas y de calificación de 4 de 40 a 80 llamadas.

Esta prueba no considera, como ya se mencionó, los retardos y otros factores introducidos en la contención por el medio si los usuarios fueran reales y no simulados,

por lo tanto al aumentar el número de estaciones en el medio inalámbrico esta red experimentarían un rendimiento menor. Se sabe que, por ejemplo, los APs de Meru Networks⁸, soportan entre 5-8 llamadas de voz simultáneas y de 10-15 usuarios de datos.

3.5.2 Capacidad del AP con tráfico de Background: Se introduce un tráfico de background con el objetivo de observar como éste afecta el rendimiento y la capacidad del AP. Se usan valores de tráfico de background relevantes en la observación para el entorno determinado anteriormente suponiendo un tráfico de datos constante aproximado a 3Mbps y 6Mbps.

La primera observación se hace con la llamada establecida, arrojando resultados muy satisfactorios, al variar el tráfico, *la llamada permaneció establecida sin interrupciones, y sin retardos perceptibles*. El porcentaje máximo de paquetes perdidos obtenido con un background de datos de 3 Mbps, generado en un flujo de bajada hacia la red inalámbrica es 1.4% cuando se cursan 60 llamadas.

El retardo máximo que se pudo observar, tiene un valor considerable de 108.854000ms presente cuando se cursan las mismas 60 llamadas con un tráfico de background de 3 Mbps.

Al aumentar el tráfico de background a 6 Mbps, el porcentaje de paquetes perdidos más significativo (1.5%) sucede al experimentar tan solo 20 llamadas; era de esperarse debido a que con este flujo de datos se está consumiendo gran parte del BW del AP. Sin embargo, este valor está muy por debajo de los límites establecidos, así que, se pueden cursar más llamadas en la red conforme el background (segundo plano) de datos varia. Este porcentaje se extrae del campo "Packets dropped" obtenido en las medidas con D-ITG.

Como Los APs y los dispositivos de red, no tienen potencialidades de QoS que permitan priorizar y distinguir el tráfico, tanto los datos como la simulación de llamadas, se ven afectados por igual y conservan una estrecha relación en cuanto al ancho de banda, por

⁸ Empresa que desarrolla soluciones de VoWLAN (www.merunetworks.com)

lo tanto en términos generales, tienen el mismo efecto los dos flujos. En este orden de ideas, el ancho de banda efectivo ofrecido por el AP para 4 estaciones cursando tráfico homogéneo, es de 12 Mbps.

Se concluye que los APs 802.11g permiten cursar un alto número de llamadas (capacidad alta), pues estos ofrecen un ancho de banda muy superior al exigido por las comunicaciones basadas en VoIP, incluso con el códec G.711 el cual consume un mayor ancho de banda. Los problemas se presentan cuando hay una mayor densidad de usuarios por AP, y se empeora si algunos de ellos están cursando tráfico pesado como por ejemplo video en tiempo real o bajando archivos grandes, en otros casos el ancho de banda utilizado es suficiente. Cuando la densidad de usuarios aumenta o se están transmitiendo datos que exigen un alto porcentaje del ancho de banda disponible, se hace evidente la necesidad de cualidades de QoS en los APs, sin embargo, se recomienda para efectos de una implementación real hacer un análisis de densidad de usuarios por recinto en la empresa y así determinar si es necesario adquirir o implementar una solución con equipos que soporten QoS. Si se tiene en cuenta lo visto en el capítulo 2 acerca de planeamiento RF se puede notar que las áreas de cobertura van a ser pequeñas, así mismo, se aconseja trabajar con 802.11a, la cual se acomoda a los resultados obtenidos en esta sección (por aspectos como la velocidad, modulación, etc) e incluso mejores debido a que la interferencia en esta tecnología en sectores urbanos (empresariales) es menor debido a que trabaja con una frecuencia diferente de 2.4Ghz.

3.5.3 Prueba de Micromovilidad: Para comprobar los niveles de calidad de la comunicación que se consideran aceptables mientras un usuario móvil experimenta el cambio de celda (o AP) llamado “handoff”, se toma el sistema total, con la distribución de 3 APs en el área delimitada para pruebas, como se muestra en la figura No. 25.

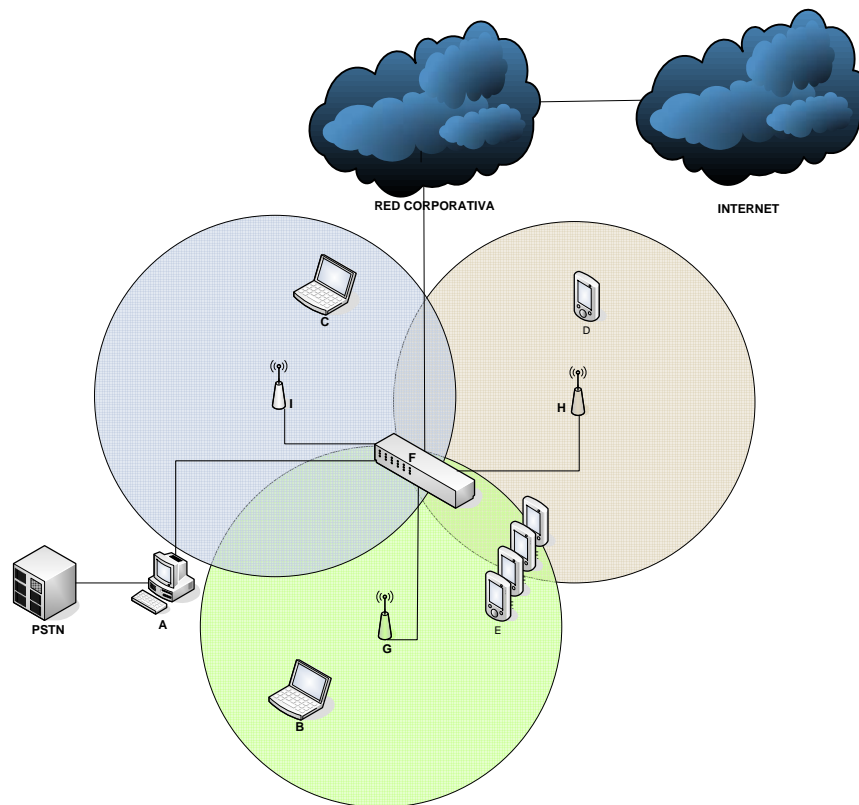


Figura 25. Prueba de micro movilidad

Uno de los usuarios móviles está realizando un cambio de celda, del AP 1 (G) al AP 2 (H), el desplazamiento se realiza con una llamada en curso. Los resultados arrojan un tiempo de *handoff* no mayor a 2 segundos y con una calidad de comunicación buena, solo entrecortada durante el establecimiento del *handoff*. Igualmente se puede observar que la llamada no se cae debido al manejo de micromovilidad con SIP, como se explicó en la sección 2.4.

Una vez el usuario se desplaza dentro del área total de cobertura y llega a las inmediaciones del AP número 3 (I), se experimenta una nueva asociación a este último AP y una desasociación del AP 2 (H), igualmente se percibe una distorsión leve por el tiempo de asociación y desasociación, comparable a la anterior. Este manejo de asociación se maneja a nivel de AP, por lo que depende de mejoras que se hagan en el firmware del dispositivo. En el caso del prototipo experimental de VoIP sobre WLAN en

entornos empresariales se tenían dos opciones en las cuales se buscó mejorar este aspecto, en cuanto a los puntos de acceso D-Link estos cambios están sujetos a actualizaciones por parte de la misma empresa y que por lo general se basan en los estándares o borradores de dicha norma (802.11), sin embargo cada empresa mejorara el firmware de estos dispositivos para que funcionen como ellos crean más conveniente. Por otro lado la otra opción es manejar un firmware bajo Linux el cual permite modificaciones a gusto del usuario final, por lo que se podría entrar a mejorarlo buscando un menor tiempo en los aspectos relacionados con la asociación. Por ejemplo, D-Link ha desarrollado una opción en su firmware para permitir que los clientes no se desasocien del AP hasta el momento en este esté deje de recibir señal del AP al cual está asociado. Esta función no es muy conveniente, sí el diseño RF se realiza de acuerdo a lo explicado en el primer capítulo, pero deja entrever que estas mejoras son posibles y realizables siempre y cuando se tenga acceso al firmware.

El handoff no se produce inmediatamente el usuario móvil está en el rango del AP 3 (I), ya que los niveles de señal del AP 2 (H) se mantiene en ocasiones dentro del rango del nuevo AP, así que un dispositivo o estación móvil, debe de experimentar niveles muy bajos producto de los obstáculos y zonas fuera del alcance del primer AP.

Los niveles de señal no decrecen conforme el usuario se aleja del AP, ya que, como se estableció en el diseño inicial, la distancia entre los APs no es la máxima permitida por estos dispositivos, antes por el contrario, se trata de cubrir con cada AP un rango más pequeño.

Es importante resaltar la importancia de los drivers de los clientes inalámbricos, puesto que en varias de las pruebas realizadas (sobretudo con el pocket PC y tarjetas inalámbricas integradas) se observó que el cliente no se desasociaba del AP hasta que no se reiniciara el módulo inalámbrico, algo que no sucedió por ejemplo con los portátiles que utilizaban tarjetas pcmcia (chip Atheros - D-link GWL-655).

Otra observación importante es la referente a la importancia que tiene el tráfico y diseño de la red en el handoff. En unas pruebas realizadas con dos APs conectados a la red de

la Universidad del Cauca en las instalaciones del IPET se observó que en horas pico el handoff observado era mayor de 5 segundos, mientras que el handoff obtenido en altas horas de la noche (cuando casi nadie usa la red) eran aproximados al montaje del prototipo realizado (entre 1-2 segundos).

Otro punto importante a mencionar es que cuando se realizaron pruebas para medir el *handoff* ocurrido en un ambiente con APs de diferentes fabricantes (D-Link y Dell) se obtuvieron resultados más altos que cuando el entorno estaba constituido por APs de la misma marca. Además, se observó la importancia de los drivers de las tarjetas inalámbricas en cuanto a handoff, pues cuando se hizo el handoff entre celdas con la tarjeta D-Link, el handoff fue casi imperceptible, mientras que cuando se hizo con el Pocket PC se presentaron varios problemas e incluso handoffs de hasta más de un minuto.

Con esto se concluye que las tecnologías inalámbricas, si bien, están soportadas por un estándar que rige a nivel mundial (802.11), cuando se trabaja con diferentes fabricantes se observa claramente que algunos tienen deficiencias y fortalezas, que se derivan de la forma en que se realizó el driver o firmware. Al final unos son mejores que otros, algunos se deja gestionar, otros son más estables, etc. La diversidad es muy grande y por ello se deben comprar equipos que constantemente le den soporte y actualización de firmware a los dispositivos ó equipos que permitan trabajar con firmware realizado con código abierto.

3.6 Validación del Prototipo

Las funcionalidades básicas con las cuales se validó el prototipo experimental, fueron las siguientes:

Nota: La configuración del servidor IP, los clientes y APs se detalla en el Anexo B.

3.6.1 Plan de numeración empresarial (extensiones): Como se mencionó anteriormente, se consideran 500 usuarios por lo cual la distribución de extensiones se

toma de 4 dígitos, de la forma XXXX, previendo un posible aumento en el número de usuarios, así como la implementación de extensiones de grupo o departamento. Para el plan de numeración es aconsejable, si la empresa cuenta con diferentes sedes o departamentos, separarlas de la siguiente forma:

1XXX → Cali
2XXX → Popayán
3XXX → Pasto
Etc.

Para la implementación del prototipo se trabajará con la sección Popayán, es decir 2XXX, de la siguiente forma, enrutando a 4 equipos disponibles, como se muestra en la tabla 10:

Tabla 10. Contexto de llamadas, por defecto (solo telefonía VoIP)

Popayán	
Extensión	Descripción
2151	Gerente - Pocket PC
2183	Asesor de ventas -Portátil 1
2152	Gerente de proyectos -Portátil 2
2144	Contador - Estación de trabajo

Por lo tanto, cuando un usuario marque en el X-Lite alguna de las extensiones anteriores, inmediatamente se tratará de comunicar con esa extensión. Si no esta disponible será desviada al buzón de voz.

En cuanto a las llamadas entrantes, se tiene la siguiente distribución, en la cual S representa el mensaje de bienvenida el cual presentará las opciones disponibles y quedará a la espera de alguno de los dígitos mostrados en la tabla 11.

Tabla 11. Contexto de llamada, para entrada de llamadas

Menú principal	
Extensión	Descripción
S	Mensaje de Bienvenida
1	Gerente - Pocket PC
2	Asesor de ventas -Portátil 1
3	Gerente de proyectos -Portátil 2
0	Operador
#	Salir

3.6.2 Llamada entre terminales al interior de la red empresarial

El usuario deberá estar registrado en el servidor Asterisk como se explicó anteriormente. Una vez en X-lite, se marca la extensión a la cual se desea comunicar y listo. Pueden ocurrir tres situaciones: una que la llamada se establezca, que el usuario no tenga prendido activado el X-lite, o que el usuario esté hablando con otra persona. En los dos últimos el Asterisk desplegará el buzón de voz informando que la persona a quien se está llamando no está disponible o está ocupada.

3.6.3 Llamada de terminales móviles a otros terminales fijos,

Se tiene la misma situación Anterior. Se supone que el usuario móvil puede ser un portátil o un pocket PC. En el caso de los pocket PC, se tiene un grave inconveniente que es la duración de la pila, por lo cual jugaría un papel muy importante el buzón de voz. En el caso del Terminal fijo, es más viable que este permanentemente activo el cliente de VoIP, sin embargo restringe la movilidad del usuario.

3.6.4 Llamada de terminales móviles a otros terminales móviles,

Se marca de la misma manera que los casos anteriores con base en la tabla 10 [extensiones internas], se tiene la facilidad que ambos tienen movilidad, no están atados a un lugar físico de trabajo y pueden realizar micromovilidad debido a las características del sistema.

3.6.5 Llamada a la RTPC

Como ya se explicó anteriormente, los usuarios están organizados jerárquicamente. Por ejemplo, el gerente podrá llamar a larga distancia, local, etc. Sin embargo no todos los empleados tienen acceso a estos servicios. Por lo tanto los números que se pueden marcar son restringidos en el archivo de configuración *extensions.conf* de Asterisk. Un usuario con permiso para salir a la RTPC deberá marcar simplemente el 0 + el número telefónico con el que se quiere comunicar. Por ejemplo para marcar a la Universidad del Cauca, debería marcar 0+8209800.

3.6.6 Llamadas al interior de la empresa

Se deberá marcar el número asignado a la línea que atiende todas las llamadas entrantes, desplegando el menú de voz que se muestra en el plan de llamadas. Marcando 1 se conecta con el Gerente (pocket PC), si marca 2 se intenta conectar con el asesor de ventas, y así. Si se marca el 0, timbrarán los clientes del Gerente y del asesor de ventas, enrutando la llamada al usuario que conteste primero.

3.6.7 Llamada en espera

Una vez establecida la llamada con el cliente X-lite, se puede dejar la llamada en espera cambiando de línea. Una vez se haga esto, el usuario al otro lado de la línea, escucha un mp3 o cualquier audio configurado para esta causa.

3.6.8 Desvió de llamadas

Una vez establecida la llamada, se marca el símbolo de número, en ese momento se escuchará el mensaje “desviando”. Se marca el número de parqueo que se especifica en *parking.conf* (701), como se explicó en la configuración de Asterisk (anexo B). El sistema entregará un número, el cual deberá ser marcado en el teléfono que se quiera recibir la llamada nuevamente.

3.6.9 Transferencia de llamada,

Se realiza una vez la llamada esté en curso. El usuario al cual se llamó puede transferir la llamada cuando por ejemplo la persona a la cual se busca está en otra oficina. El procedimiento es el siguiente: se presiona la tecla *transfer* (resaltada con un óvalo rojo en

la parte inferior) mostrada en la siguiente figura, se marca la extensión a la cual se quiere transferir la llamada, y se oprime nuevamente *transfer* como se muestra en la figura 26 en color rojo.



Figura 26. **Transferencia de llamada**

3.6.10 Buzón de voz.

Cuando uno de los usuarios los cuales se está llamando no se encuentra o no está disponible, el buzón de voz recibe el mensaje. Este será informado inmediatamente por e-mail, y opcionalmente puede mandar el mensaje de voz como archivo adjunto.

3.7 CRITERIOS TEÓRICOS PARA LA EXTENSIÓN DEL SERVICIO TELEFÓNICO

El capítulo anterior trató sobre la implementación de VoWLAN en un entorno empresarial, pero además, otro de los objetivos perseguidos por este proyecto es el de proponer criterios teóricos a tener en cuenta para la posible implementación del escenario de VoWLAN para extensión del servicio telefónico que consiste en llevar servicios de voz de

bajo costo a lugares alejados del perímetro urbano. Una empresa telefónica que quiera extender su cubrimiento a nuevos usuarios puede proveer sus servicios en lugares de difícil acceso, como por ejemplo zonas rurales, resguardos indígenas, barrios donde no hay cableado, requerimientos temporales como eventos, etc.

Hasta el momento se vieron a profundidad todos los criterios de diseño necesarios para llevar voz por medio de WLAN. En general se verá que los criterios para la extensión del servicio telefónico son en gran parte similares a los que se vio para el entorno empresarial. En este escenario entran a jugar un papel importante la escogencia correcta de antenas, el manejo de potencia y la adquisición de equipos necesarios para interconectar un número mayor de usuarios a la RTPC. Así mismo, se deberá asegurar un canal constante en el trayecto entre la sede de la empresa telefónica y el sector al cual se le quiere dar servicio telefónico. Mientras que todos los criterios tratados en el capítulo 2 se deben tener en cuenta en este escenario, aparecen unos nuevos criterios, como se muestra a continuación.

3.7.1 Parámetros de diseño:

Con el fin de hacer el estudio de este escenario, se van a tomar los siguientes valores que se presentan en las interconexiones convencionales entre centrales telefónicas de una implementación real. Se hizo lo posible por conseguir estos valores reales, pero en Colombia no existen estudios realizados al respecto, por lo cual se decidió tomar un valor común en el tráfico realizado por un grupo de personas de un edificio a la PSTN. Sin embargo, se recomienda que para implantarlo, primero se debe realizar un estudio minucioso de las necesidades de la empresa, ya que la cantidad de recursos necesarios para entregar un grado de servicio determinado es proporcional al costo total del sistema.

- Grado de Servicio: 1%
- Tráfico de Hora pico entre la central telefónica y el sector al cual se le quiere dar servicio telefónico: 15 Erl.
- Calidad de servicio: Carrier Grade (99,999%) (conocido como “5 nueves de disponibilidad”)
- MOS: 3.9 o superior.

Con estos valores, se utiliza la calculadora “VoIP Calculator”⁹ para determinar el ancho de banda que será necesario para soportar este tráfico. Si se observa la figura 27 se puede ver la importancia del códec utilizado para el transporte de la voz entre la central telefónica y el barrio o sector al cual se le va a prestar el servicio. Se puede ver que el ancho de banda que exige el códec G.711 es 1.2Mbps más que el exigido por el códec G.728.

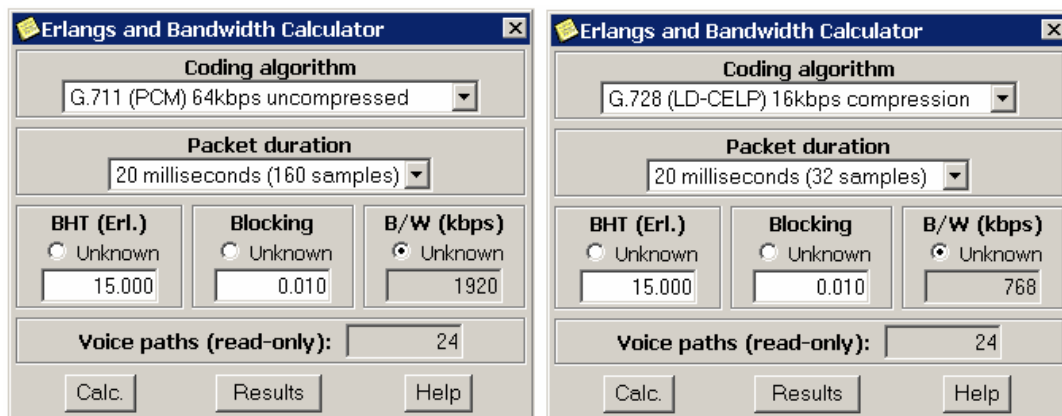


Figura 27. Ancho de banda necesario para un tráfico de 15 Erlangs para diferentes códecs

El ancho de banda necesario para enviar este tráfico con el códec G.711 es de 1920kbps. Mientras que el ancho de banda necesario con el códec G.728 es de 768Kbps. Con base en estos datos se hace un estudio de los criterios necesarios a tener en cuenta para lograr superar esta capacidad. Se debe tener en cuenta la tecnología de interconexión que se va a utilizar; así como las antenas. Con la capacidad y grado de servicio que se quiere prestar se deben calcular el número de líneas que se deben instalar en la pasarela de VoIP-RTPC. En cuanto a QoS se recomienda tener en cuenta la parte del sistema referente a los clientes, es decir, si el sistema presta servicios tanto de voz como de datos, se debe prestar mucha atención en la priorización del tráfico, evitando así que por ejemplo llamadas de emergencia (911) no se puedan establecer cuando el tráfico de datos es muy alto.

⁹ <http://www.voip-calculator.com/calculator/eipb/>

Para calcular las líneas necesarias en la pasarela VoIP-RTPC, se debe utilizar la calculadora Erlang-B con los datos anteriores. En la figura 28 se calcula en número de líneas necesarias para un bloqueo de 1 por cada 100 llamadas.

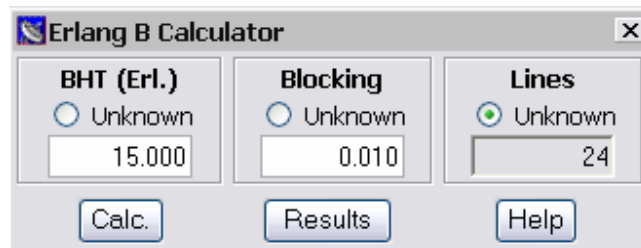


Figura 28. Número de líneas necesarias para un tráfico de 15 Erlangs.

3.7.2 Selección de la Tecnología de interconexión

Es muy importante escoger la tecnología más apropiada para el enlace inalámbrico entre la empresa telefónica y la zona a la que se le quiere prestar extensión del servicio telefónico. Se presentan dos opciones, hacerlo con WiFi, ya sea 802.11a o 802.11g dependiendo de las condiciones del medio ó hacerlo con la tecnología WiMax (802.16), la cual esta diseñada precisamente para enlaces de trayectos extensos. La mejor opción, por supuesto es WiMax, en el mercado se pueden conseguir productos pre-Wimax que permiten lograr muy buenos resultados y se espera una versión final a mediados del próximo año. Para perímetro urbano es mejor trabajar con IEEE 802.11a debido a que el espectro esta mejor librado de interferencias en estas zonas de alta densidad; para perímetros rurales, es más recomendado usar IEEE 802.11b/g aprovechado la condiciones de poca densidad e interferencias para trabajar con un espectro mas propenso a estas y también obtener el beneficio de mayores distancias de rango de cobertura.

Es muy importante en este trayecto proveer un buen mecanismo de seguridad, debido al alto tráfico de datos que se está enviando. Hay que tener en cuenta que la red queda expuesta en el trayecto de interconexión, debido a que se utiliza un medio aéreo. Se aconseja utilizar alguno de los métodos tratados en el primer capítulo, para tener un buen nivel de seguridad, el más apropiado es WPA.

En ambos casos, 802.11g o WiMax, se ofrece suficiente ancho de banda para enviar el tráfico estimado para este escenario. Es muy importante tener en cuenta que mientras mayor sea la distancia, será menor la velocidad conseguida en el enlace. Igualmente la capacidad de los equipos se reduce cuando el área de cobertura se hace mayor, sin embargo esto no se tiene en cuenta en este escenario, debido a que se trata de un enlace punto a punto en el cual no intervienen más equipos.

Es muy complejo determinar la velocidad del enlace en función de la distancia, debido a que ésta depende de las antenas y equipos utilizados. Por lo que se recomienda para este escenario la utilización de equipos especializados en este tipo de enlaces como los de 5G Wireless ó Mesh Networks, que aseguran anchos de banda *full duplex* de 6.8 Mbps y coberturas de hasta 8 millas. Sin embargo, si el número de clientes a atender no genera mucho tráfico, se puede considerar la utilización de equipos de bajo costo de D-Link, Linksys, etc.

3.7.3 Selección de las antenas

Lo mas importante que se puede hacer para extender el rango del sistema 802.11 es instalar una antena externa con buena ganancia y de tipo direccional o omni-direccional. En este caso se trata de dar servicio telefónico a lugares alejados o rurales en una configuración punto a punto, por lo que las más indicadas son las antenas direccionales. Estas pueden ser Backfires, Yagi, Panel y Dish Type.

3.7.3.1 Consideraciones de ganancia: La ganancia que se requiere para cada antena Wi-Fi individual depende de los obstáculos encontrados en el camino, la distancia que se debe cubrir y las tarjetas WiFi utilizadas en el enlace (debido a la potencia). Todas estas consideraciones deben ser identificadas antes de escoger la antena. Existen varias herramientas en el mercado, incluso algunas sin costo que permiten hacer los cálculos necesarios para escoger la antena según estas características.

Con estas herramientas se pueden obtener la potencia y ganancia de la antena para cubrir una distancia determinada de una forma muy simple. Es muy útil también consultar

las especificaciones de las antenas, proporcionadas en línea por los fabricantes, antes de adquirirlas.

3.7.3.2 Interferencia: Como son todos los sistemas de radio, la interferencia siempre es un problema. Existen varias fuentes de interferencias con sistemas WiFi como transmisores de microondas, algunos sistemas de alumbrado, otros sistemas 802.11, hasta computadores con alta velocidad de procesador pueden afectar. Todos estos aspectos deben ser considerados antes de conseguir un buen y efectivo cubrimiento de la distancia deseada.

3.7.4 Amplificadores

Si la distancia a alcanzar es muy grande, puede ser necesario utilizar amplificadores de señal. Sin embargo deberá tenerse en cuenta la Resolución 000689 del 2004 para no sobrepasar los límites impuestos por el Ministerio de Comunicaciones de Colombia a estas tecnologías.

3.7.5 Selección de la(s) pasarela(s)

Como se mencionó anteriormente, se deben adquirir una o varias tarjetas que provean interfaz con el equipo de telefonía tradicional. Debido a que en este proyecto se decidió trabajar con Asterisk, es necesario adquirir una tarjeta compatible con esta PBX. En Digium se observan varias tarjetas, que permiten interconectar desde una simple línea telefónica hasta una capacidad de 4 T1s. Para una implementación real se debe calcular la capacidad de la tarjeta, teniendo en cuenta el número de usuarios que la empresa telefónica pretende atender. Una vez se adquiera la tarjeta se configura Asterisk de una forma muy similar a la mostrada en la implementación del prototipo en el capítulo 3. En un computador con Asterisk se pueden tener varias tarjetas trabajando simultáneamente.

3.7.6 Acceso a los servicios de telefonía

Los usuarios podrán tener acceso a los servicios por medio de un centro de atención en el

cual se tienen varios adaptadores de telefonía analógica (ATAs) conectados a teléfonos tradicionales. Estos dispositivos convierten los teléfonos analógicos en clientes de VoIP, permitiendo a los usuarios realizar llamadas sin necesidad de contar con un computador.

Por otro lado, se da la posibilidad que los usuarios que tengan un computador o Pocket PC, pueda tener acceso a los servicios telefónicos, realizando una configuración similar a la realizada en el capítulo 3. Sin embargo, como se trata de telefonía de bajo costo, lo más viable es trabajar con los ATAs y teléfonos convencionales en centros de atención ubicados alrededor de toda la comunidad a la cual se le está prestando el servicio.

Es también posible la utilización de teléfonos IP inalámbricos como por ejemplo el Cisco Wireless IP Phone 7920 para acceder a los servicios de telefonía. Estos teléfonos tienen un aspecto similar a los teléfonos celulares y su uso es similar al explicado anteriormente para el cliente software de VoIP. Entre las ventajas que soportan este tipo de dispositivos es que si trabajan dentro de un sistema que lo soporte pueden realizar roaming más rápidamente, debido a que están diseñados para ello. El inconveniente de estos teléfonos es que su precio supera los US\$300 y en general están optimizados para trabajar con equipos de la misma marca, en este caso Cisco. Spectralink y Meru Networks tienen productos similares y el mismo inconveniente.

3.7.7 Configuración de la comunicación entre servidores de Voz sobre IP (IAX)

La solución propuesta considera el intercambio de tráfico entre los dos servidores Asterisk por medio del protocolo IAX (Inter Asterisk eXchange) utilizando un códec que consuma un ancho de banda bajo, por ejemplo iLBC o GSM. Este protocolo permite desplegar pasarelas de interconexión hacia la telefonía clásica así como hacia otros protocolos de telefonía IP. Se debe configurar Asterisk para atender a los usuarios de la zona en la cual se quiere extender el servicio, y crear como una red de telefonía interna entre ellos con su correspondiente numeración. Cuando un usuario de esta zona quiera establecer una llamada hacia un teléfono local, nacional o internacional (dependiendo de la categoría del usuario), el servidor Asterisk A envía la petición al Asterisk B, y este a la vez enruta la llamada a la RTPC. Sin embargo, si la llamada es a otro móvil o estación ubicada en la

misma zona, el Asterisk deberá estar configurado de tal forma, que se realice directamente la llamada sin necesidad de enviarla al Asterisk A. A continuación se muestra el archivo de configuración que se debe agregar para llevar a cabo esta comunicación, se debe realizar una llamada en el archivo de configuración extensions.conf como se explico anteriormente.

```
iax.conf asterisk A

: Contexto general
[general]
port=5036
amaflags=default
bandwidth=high
tos=lowdelay
trunk=yes
disallow=all          ; Deshabilita todos los códecs
allow=ulaw            ; Permite el codec ulaw (g711)
allow=ilbc            ; Permite el codec ilbc
allow=gsm             ; Permite el codec gsm
allow=g729            ; Permite el codec g729 (propietario)

; se hace login en el servidor Asterisk A
; Para poder comunicar el Asterisk A
register => username:contraseña@dominio.del.asterisk.A.net

; se le asigna un nombre de usuario para que el sector remoto se conecte
; al servidor asterisk ubicado en la empresa telefónica

[asterisk B]
type=friend
username=asteriskB
secret=clave
auth=plaintext
context=telsip
host=dynamic
disallow=all
allow=ilbc
```

Lo que se hace es conectar los dos servidores Asterisk por medio de un register. El servidor A debe tener un nombre de usuario para el B y viceversa. En el ejemplo se ve que se utilizará el códec iLBC solamente en la comunicación. Los servidores están en modo troncal para ahorrar un poco más de ancho de banda. Lo mejor de todo y la razón

para escoger este protocolo en la comunicación inalámbrica para la extensión del servicio telefónico es que el consumo de ancho de banda será menor porque solo se utiliza el RTP de la primera llamada en curso.

3.7.8 Tarificación

Se debe tener en cuenta que al ser este un servicio que las empresas telefónicas podría implementar se debe pensar en esquemas de tarificación. Para ello Asterisk se puede configurar adecuadamente.

Registro detallado de llamadas (CDR)

Contiene información detallada acerca de donde se originan las llamadas, o terminadas. CDR es usado para tarificar.

Formato CDR

El formato en el cual CDR es provisto, varía y es con frecuencia configurable. Tradicionalmente la generación y manejo de CDRs ha sido conocida como contabilidad de mensajes automático o AMA (por sus siglas en ingles). Las PBX y “softswitches” en su normalmente generan CDRs ya sea en formatos delimitados con comas o ellos se escriben directamente en las bases de datos.

Procesamiento CDR

En redes telefónicas convencionales, los sistemas que generan CDRs (elementos de red) y los sistemas que procesan CDR (sistemas de soporte u OSS) son entidades separadas. Por esta razón, CDRs deben ser primero colectados de los elementos de red y pasados a un OSS.

Cuando los CDRs han sido colectados, ellos deben ser chequeados (validación), reformateados (normalización) y consolidados para un procesamiento posterior.

El proceso combinado de colección, validación, normalización y consolidación es también referida como mediación. Esto puede ser un proceso muy complejo y es común que empresas de telecomunicaciones pierdan una significativa cantidad de ingresos debido a errores. Al mismo tiempo la cantidad de CDRs a ser procesado por una empresa de telecomunicaciones grande puede ser absolutamente inimaginable. Mientras que los CDRs representan los ingresos de estas empresas y la cantidad de CDRs es tremenda, la mayoría corren herramientas como NSK las cuales son muy costosas. Los CDRs son muy importantes, por lo que se debe tener mucho cuidado con ellos.

Valoración y facturación

Una vez los CDRs han sido colectados, validados, normalizados y consolidados, un cargo es calculado por cada llamada identificada por los detalles en una o más CDRs. Este proceso es llevado a cabo por un dispositivo de valoración que puede ser parte de un sistema de facturación.

Asterisk genera CDRs (*include/asterisk/cdr.h*). Por defecto, Asterisk registra en valores separados por coma y serán creados en */var/log/asterisk/cdr-csv*. Se pueden especificar unos códigos de contabilidad y banderas (flags) AMA para ayudar con la contabilidad.

Para el manejo y análisis de estos datos existen un gran número de aplicaciones que trabajan ya sea ingresando los datos a una base de datos o con los datos separados por comas.

3.7.9 QoS

Si el número de usuarios en el área a la cual se quiere extender el servicio telefónico es muy grande, se recomienda implementar utilizar los métodos vistos anteriormente para priorizar paquetes. Se sugiere una priorización de capa 2, tanto a nivel de clientes inalámbricos como cableados. Esto permitiría que no se represe el tráfico de voz, cuando el tráfico total de la red es muy alto (en el caso de que hubiese tráfico de datos).

Sin embargo como se tiene que el enlace de extensión del servicio telefónico es punto a punto, donde se deben invertir todos los esfuerzos es en el conmutador que atiende a los usuarios en el sector rural o urbanización a la cual se le está dando servicio telefónico.

3.7.10 Diseño final

Una vez vistos todos los criterios, se recomienda el siguiente diseño final para el escenario de extensión del servicio telefónico, el cual se muestra en la figura 29. Con la utilización de la tecnología 802.11g en conjunción con las antenas apropiadas, se puede alcanzar un ancho de banda superior a los 768 kbps necesarios para llevar el tráfico de voz planteado en la sección 4.1 en el trayecto entre la empresa de telefonía y el sector al cual se le quiere prestar el servicio. En las pruebas realizadas por el proyecto EHAS se lograron anchos de banda entre 3-4 Mbps en un trayecto de 6 kilómetros con la tecnología 802.11b sin amplificación (Cerro Guambía – Hospital San Carlos) , por lo cual se espera un mejor resultado con la tecnología 802.11g, sin embargo, la mejor opción será WiMax para alta densidad de tráfico.

Se recomienda tener en cuenta la calidad del servicio, en la parte del sistema en la que se manejan los clientes, debido a que las llamadas de voz deberán tener una prioridad superior al tráfico de datos. Esto se logra con las tecnologías que se han propuesto en el capítulo 2, como 802.11p para el conmutador 802.3 y WMM para el segmento inalámbrico que atiende a usuarios móviles. En cuanto al envío del tráfico se recomienda hacerlo en modo troncal y la utilización de un códec como iLBC10 o GSM para ahorrar un poco más de ancho de banda.

Debido a que el sistema propone una solución de bajo costo, enfocada más que todo a dar servicio a barrios alejados del perímetro urbano, así como zonas rurales, etc, se debe considerar el hecho que las personas podrían no estar familiarizadas con algunas de las tecnologías involucradas, por lo cual es muy conveniente incluir en este sistema los adaptadores de teléfonos analógicos, que permite usar los teléfonos convencionales en un sistema de VoIP. Es así como las personas que quieran gozar de estos servicios

¹⁰ <http://www.ilbcfreeware.org/>

podrán hacerlo de la forma convencional. Por otro lado, si lo que se quiere es prestar servicios en una zona no urbana, pero que esta familiarizada con estas tecnologías, incluso se puede pensar en cubrir toda la zona con AP, como se vio en el capítulo anterior, para posibilitar que las personas puedan utilizar los servicios telefónicos y de datos sin estar atados a un punto fijo.

Dependiendo del enfoque que se le de al sistema, podría ser necesaria la tarificación ya sea para cobrar por los servicios o para llevar un control y estadísticas de la utilización del sistema. Se aconseja igualmente revisar el CDR con el fin de redimensionar el sistema si fuese necesario, es decir en caso de que el bloqueo de llamadas se haga mayor, puede deberse a una insuficiencia de líneas disponibles para un número muy alto de usuarios.

Para el diseño del enlace punto a punto que va a llevar el tráfico telefónico del sector alejado hasta la empresa de telecomunicaciones es necesario tener en cuenta el terreno, existen varios programas que permiten ingresar las coordenadas de los dos puntos y por medio de imágenes satelitales del terreno se pueden determinar los obstáculos que de deben superar, la potencia necesaria, etc.

Finalmente se tiene en la figura 29 el diseño final del escenario de extensión de servicio telefónico.

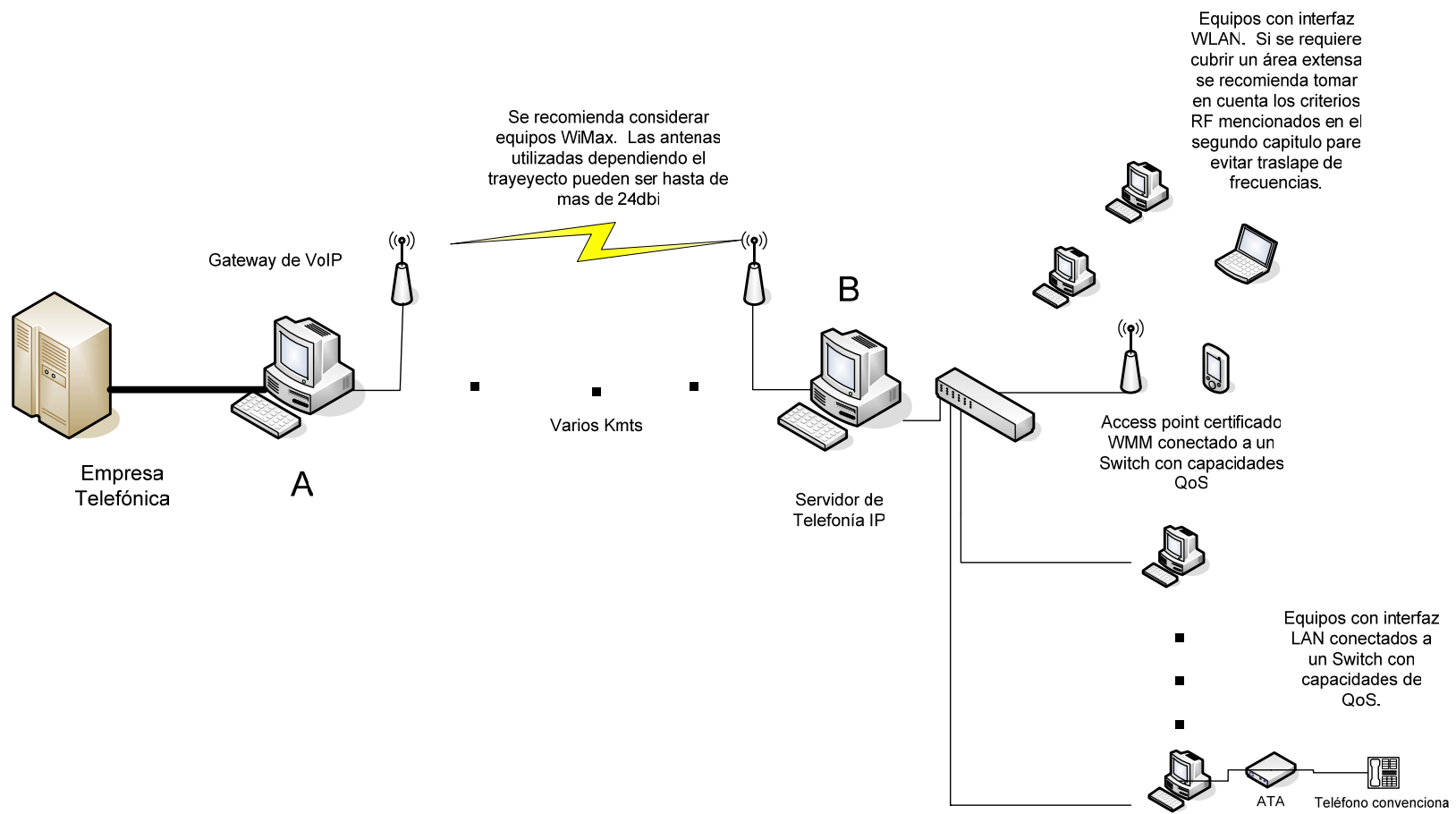


Figura 29. Extensión del servicio telefónico

4. Conclusiones y Recomendaciones

En el capítulo 1 se han revisado los problemas más relevantes de las tecnologías involucradas (VoIP y WLAN) así como de VoWLAN en general y se han expuesto algunas de las posibles soluciones para cada uno de estos. En cuanto a los problemas relacionados a VoIP se tiene que es de gran importancia escoger el códec con el cual se va a trabajar, debido a que afecta considerablemente el ancho de banda utilizado, así como la calidad de voz que se espera obtener y el procesamiento de los equipos que se van a utilizar. Teniendo en cuenta todos estos factores se decidió trabajar el prototipo experimental de VoIP sobre WLAN con los códecs G.711 y GSM. Más adelante se tratarán con más detalle estas y otras razones.

En cuanto a los retardos, es muy importante el diseño de la red sobre la cual se va a soportar la VoIP. Según los resultados obtenidos (como se indicó en la sección 1.1), los retardos obtenidos en la Red de la Universidad del Cauca, son menores a los límites indicados para el manejo de VoIP en una red local. Sin embargo, lo óptimo es manejar criterios de QoS para minimizar los retardos inducidos por la red en el manejo de colas, dándole prioridad a los flujos de voz. Para ello se deben tener en cuenta varios criterios que se tratarán en el siguiente capítulo.

Lo ideal sería trabajar con protocolos ethernet TDMA, tales como HCF o por lo menos con EDCF, sin embargo, el estándar que los especifica (IEEE 802.11e) no ha sido ratificado. A pesar de esto, en el mercado existen actualmente algunos productos con certificación WMM (Wireless Multimedia) por la *Wi-Fi alliance*. Estos dispositivos certificados trabajan con los borradores del estándar (las bases de la certificación se numeran en el Anexo D).

En el momento de realizar el prototipo no se contaba con estos equipos, por lo que se implementó un punto de acceso inalámbrico en un computador con sistema operativo Linux, utilizando el driver MadWifi para la tarjeta de red Atheros, sin embargo, este driver hasta el momento no soporta características QoS .

Como se mencionó anteriormente, empresas como Spectralink y Meru Networks, han desarrollado sistemas propietarios que permiten anular el handoff, aumentar el número de clientes de voz por AP, mantener la velocidad de 802.11g cuando están asociados a él clientes 802.11b, manejo de QoS , etc. Así como gestión y monitoreo, sin embargo, estos sistemas son demasiado costosos y necesariamente deben trabajar entre ellos para mantener dichas características por su carácter de sistema propietario. Por otro lado, la empresa SIPQuest ha desarrollado una tecnología que permite hacer roaming en menos de 10ms entre APs de cualquier tipo (certificado Wi-Fi), es decir no debe trabajarse con sistemas propietarios. Lamentablemente, no fue posible conseguir una demostración de este software, debido a que SIPQuest lo diseña para fabricantes de equipos y ninguna de las solicitudes que se realizaron para conseguir una versión demo del programa fue atendida. Por lo tanto el prototipo se realizó con los elementos que se contaban APs certificados Wi-Fi con soporte para seguridad WEP y WPA. Tarjetas de red inalámbricas con soporte para WEP y WPA. Así mismo, se trabajó con un equipo Linux configurado como AP.

La mejor opción para la implementación del prototipo, es la tecnología 802.11a, sin embargo, para el prototipo solo se contaba equipos 802.11g los cuales trabajan a la misma velocidad (54Mbps) pero presentan el inconveniente que solo tienen tres frecuencias sin traslape. Esto es una desventaja si se tiene en cuenta que para implementaciones grandes puede limitarse el reuso de frecuencias, tal como se expuso al comienzo del capítulo. En el prototipo se obtuvieron buenos resultados debido a que solo se utilizaron 3 APs siguiendo los lineamientos expuestos anteriormente, sin embargo, se recomienda en el caso de una implementación mayor tener en cuenta todos los conceptos explicados, especialmente la de trabajar con la tecnología 802.11a si la densidad de usuarios es considerable.

Lo ideal sería contar con priorización de tráfico a nivel 2, tanto en los segmentos WLAN como en los LAN. Esto permitiría dar un manejo preferencial al tráfico de voz, sobre el de datos y video en todo el sistema, asegurando la llegada oportuna a su destino. Lamentablemente no existen dispositivos 802.11e en el mercado; toda la teoría expuesta sobre calidad de servicio a nivel MAC en redes inalámbricas (802.11e) se recopiló de los borradores de este estándar debido a que no ha sido aún ratificada. Se espera que a

mediados del 2005 se ratifique éste estándar. Sin embargo, actualmente se pueden conseguir en el mercado productos que cumplen con la certificación WMM de la Wi-Fi Alliance, la cual se basa en el borrador 802.11e e incluye la parte de servicios diferenciados. Actualmente existen dos perfiles que los fabricantes deben seguir para obtener la certificación WMM: WME (Wi-Fi Multimedia Extensions) que se basa en la prioridad de servicio EDCA y WSM (Wi-Fi Scheduled Multimedia) la cual se basa en un acceso de sondeo HCCA e incluye EDCA. En la tabla 12 se hace una comparación entre estos dos perfiles:

Tabla 12. Comparación entre WME y WSM

WME	WSM
Se basa en el borrador 802.11e	Se basa en el borrador 802.11e incluye WME
Basado en EDCA (Enhanced Distributed Coordination Access)	Basado en HCCA (HCF Coordinated Channel Access)
EDCA provee prioridad en clases de servicio	HCCA 'reserva' ancho de banda basado en especificaciones de tráfico de los clientes
Recomendable para aplicaciones de audio de una sola vía	Recomendado para aplicaciones de flujo de medios (voz y video) de dos vías
APSD opcional	Usa APSD programado- excelente para el ahorro de energía

Sin embargo, WMM no es la única solución al problema de QoS . Existen soluciones propietarias que deben ser consideradas, como por ejemplo SVP, la cual incluso ha sido adoptada por empresas de mucho peso que fabrican dispositivos inalámbricos (entre ellas Cisco). A continuación se hace una comparación entre algunas de las implementaciones de calidad de servicio más importantes para redes inalámbricas, para que se considere cual puede ser la más viable en una implementación real. Estas implementaciones de QoS no se aplicarán al prototipo experimental de VoIP sobre WLAN debido a que por lo general son muy costosas y se venden como un "paquete" completo de la implementación, las cuales incluyen desde los dispositivos finales (teléfonos IP, tarjetas especiales, etc), hasta los APs y servidores para el manejo de QoS y ahorro de energía. Si se comparan las implementaciones de QoS más relevantes, se puede concluir que

WSM es la más adecuada, sin embargo en este momento se encuentra en desarrollo, ver la tabla 13.

Tabla 13. Implementaciones QoS

Implementación de QoS	Descripción
WME	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prioridad probable ▪ Requiere del uso de un servidor SVP para proveer adecuada vida de la batería. ▪ Menos llamadas por AP
WME w/ Triggered APSD	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prioridad probable ▪ No requiere el uso de un servidor SVP ▪ Vida de la batería reducida ▪ Menos llamadas por AP
WSM	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Solución estandarizada ▪ Vida de la batería adecuada ▪ Capacidad optima
SpectraLink Voice Priority	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prioridad estricta ▪ Requiere un servidor SVP ▪ Ampliamente adoptada ▪ Máximo número de llamadas por AP ▪ No soporta otras clases de clientes

A nivel de red, es muy importante tener en cuenta los servicios diferenciados en el caso de tener varias cedes interconectadas por enrutadores o si se tiene una empresa muy grande en la cual se separa tráfico con dispositivos de red de nivel 3. Es deseable un tratamiento de QoS a nivel dos y tres en empresas de grandes dimensiones, en cambio para empresas pequeñas y medianas, un manejo de QoS a nivel 2 será más que suficiente.

Con el objetivo de utilizar completamente el ancho de banda de un punto de acceso, se deben considerar inconvenientes como lo son la interferencia co-canal y de canal adyacente, los cuales deben ser controlados.

Si bien la utilización de dispositivos de mano como la Pocket PC ofrece comunicaciones móviles de buena calidad, tiene también algunos inconvenientes como su limitado procesamiento, ya que estos dispositivos por lo general vienen provistos de tarjetas 802.11b. Otro limitante es que la batería de estos dispositivos no dura mucho debido al

consumo de la tarjeta inalámbrica, la pantalla en color, etc. por lo cual sería deseable contar con teléfonos inalámbricos IP con pila de larga duración.

Se propone como posible proyecto de grado en la Universidad del Cauca la implementación de APs con soporte de QoS , y posibilidad de modificar el firmware para buscar características especiales en el comportamiento general del sistema. Así mismo, la construcción de teléfonos IP que permitan una buena calidad de voz y una duración de la pila mayor.

Escoger con que códec se va a trabajar es determinante, debido a que se deben considerar desde la capacidad de procesamiento del equipo, como el ancho de banda y volumen de usuarios en el sistema. En este caso en particular se obtuvo que el Pocket PC funciona mejor con el códec G.711, sin embargo, se probó con otros códecs más pequeños pero la baja capacidad del equipo se hace evidente. Incluso el cliente X-Lite para Pocket PC soporta el códec G.723.1 que consume muy bajo ancho de banda, pero se pierde mucho la calidad de la voz. Cabe resaltar que este códec, así como el G.729, no es libre y por lo tanto hay que pagar una licencia muy costosa. En el caso de los portátiles y estaciones fijas, el que mejor calidad ofrece es el G.711 y en cuanto a consumo de ancho de banda el GSM es una muy buena opción. Para trabajar con G.729, se encontró que puede trabajar con Asterisk sin ningún costo siempre y cuando no se comercialice. En las pruebas presentó una calidad de voz muy similar a la del G.711. Uno de los problemas que se observaron con el códec G.729 fueron los tiempos de conversión (en el Asterisk) a PCM, en este caso no fue tan relevante pues solamente se manejaba una llamada a la RTPC, sin embargo cuando la implementación real requiera un E1 o más, se hará necesario incrementar la capacidad del servidor que aloja la PBX

Los paquetes perdidos se presentan a causa de que la cola (buffer) se reboza, la capacidad del AP y la capa MAC se ve alcanzada en el límite de reintentos.

Los dispositivos basados en IEEE802.11e permiten una priorización de tráfico y mapeo a otras tecnologías de red como 802.3. WMM se basa en el borrador del estándar 802.11e e incluye calidad de servicio a nivel de red con servicios diferenciados. Es suficiente para el manejo de voz, pero no para video. Por lo tanto se recomienda adquirir equipos

certificados WMM para una implementación real. En el momento de entregar este documento, se estuvieron haciendo pruebas con el driver MADWIFI para chipset Atheros (D-Link DWL-G650) configurado como AP en Linux, pero aún no soporta QoS , sin embargo soporta 802.11i el cual fue apenas ratificado en junio del 2004, lo cual hace pensar que en corto tiempo podría soportar 802.11e o por lo menos algunas consideraciones del borrador y así se podrían hacer pruebas con dicho estándar en máquinas Linux sin la necesidad de comprar el costoso hardware certificado WMM.

5. BIBLIOGRAFIA

PEJMAN, Roshan and JONATHAN Leary. CISCO 802.11 Wireless LAN Fundamentals. Cisco Press 2003.

COOKLEV Todor. Wireless Communication Standars: A study of IEEE 802.11, 802.15, e IEEE 802.16. IEEE 2004.

DAVINSON, Jonathan. Fundamentos de Voz sobre IP. Madrid 2001. Cisco Press. ISBN 84-205-3190-1.

KEAGY, Scout. Integración de Redes de Voz y Datos. Madrid 2001. Cisco Press. ISBN 84-205-3187-1.

FROOM Richard . Cisco Catalyst® QoS : Quality of Service in Campus Networks. Cisco Press 2004.

SHIRDOKAR, Kabara. A QoS -based Indoor Wireless Data Network Design for VoIP Applications. Pittsburgh 2003. Telecommunications Program, Departament of Information Science & Telecommunitations. University of Pittsburgh .

PARK Seyong. Collaborative QoS Architecture between DiffServ and 802.11e Wireless LAN. New York 2003. Departament of Electric and Computer Engineering, State University of New York.

CHOI, Sunghyun. IEEE 802.11e Contention-Based Channel Access (EDCF) Performance Evaluation. Korea 2004. Seoul National University, Korea.

LI, Changle. Performance Analysis of IEEE 802.11 WLAN to Support Voice Services.

China 2004. Xidian University, China.

ANJUM, Farooq. Voice Performance in WLAN Networks - An Experimental Study. New Jersey 2003. Toshiba America Research Inc.

LI, Changle. Performance Evaluation of IEEE 802.11 WLAN – High speed Packet Wireless Data Network for Supporting Voice Service. China 2004. Xidian University, China.

Truong, H.L. Performance evaluation of the QoS IEEE 802.11e MAC Layer. Switzerland 2004. IBM Zurich Reserarch Laboratory.

JOHNSON, Carolyn. VoIP REaliability: A Service Provider´s Perspective. IEEE 2004.

JAMES, J.H. Implementing VoIP: A Voice Transmission Performance Progress Report. IEEE 2004.

IEEE Std. 802.11a, Supplement to Part 11: Wireless LAN Médium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Higher-speed Physical Layer Extension in the 5Ghz Band. IEEE, 1999. URL: <http://standards.ieee.org/catalog/olis/lanman.html>

IEEE Std. 802.11g, Supplement to Part 11: Wireless LAN Médium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 Ghz Band. IEEE, 2003. URL: <http://standards.ieee.org/catalog/olis/lanman.html>

IEEE Std. 802.11g, Supplement to Part 11: Wireless LAN Médium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 Ghz Band. IEEE, 2003. URL: <http://standards.ieee.org/catalog/olis/lanman.html>

IEEE Std. 802.1x, IEEE Standards for Local and Metropolitan Area Networks: Port-Based Network Access Control, IEEE, 2004. URL: <http://standards.ieee.org/catalog/olis/lanman.html>

IEEE 802.11e/D12 Unapproved Borrador Amendment Standard for Information

Technology-- Telecommunications and Information Exchange Between Systems-- LAN/MAN Specific Requirements-- Part 11 Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Medium Access Control (MAC) Quality of Service (QoS) Enhancements. URL: <http://standards.ieee.org/catalog/olis/lanman.html>

IEEE 802.11i-2004 Amendment to IEEE Std 802.11, 1999 Edition (Reaff 2003). IEEE Standard for Information technology--Telecommunications and information exchange between system--Local and metropolitan area networks?Specific requirements--Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications--Amendment 6: Medium Access Control (MAC) Security Enhancements. URL: <http://standards.ieee.org/catalog/olis/lanman.html>

Producción Intelectual Universidad del Cauca:

- Redes de área local inalámbricas WLAN. Guefry Leider Agredo Méndez.
- Voz sobre IP. Hacia una plataforma multiservicios unificada. Oscar J. Calderón Cortes.
- Criterios en la Planeación y Diseño de una Red de Telefonía IP. Alexandra Fruto Nieto. y Claudia Liliana Cabezas Ortiz. Director Iván Eduardo Hernández.
- Análisis y diseño de una red inalámbrica bajo las normas ieee802.11 para el campus de ingenierías- sector Tulcán – Marta Vera y Hernán Bravo. Director Pedro Vera Vera

Enlaces Importantes:

www.VoIP-info.org

www.vovida.org

www.itu-t.org

www.itu.int/home/

www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/QoS .htm

www.wi-fi.org/OpenSection/wmm.asp

http://QoS .ittc.ukans.edu/ipQoS /ip_QoS .htm

www.spectralink.com