



**Universidad de San Carlos de Guatemala**

**Facultad de Ingeniería**

**Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica**

**CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SIMPLIFICADO DE VOZ  
SOBRE IP PARA EL ÁREA RURAL**

**Juan Mauricio Calle Fuentes  
Asesorado por Ing. Juan David Alvarado Corado**

**Guatemala, octubre de 2004**



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN  
DE UN SISTEMA SIMPLIFICADO DE VOZ SOBRE IP PARA EL  
ÁREA RURAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
POR

**JUAN MAURICIO CALLE FUENTES**  
ASESORADO POR ING. JUAN DAVID ALVARADO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2004



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

<b>DECANO</b>	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
<b>VOCAL I</b>	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
<b>VOCAL II</b>	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
<b>VOCAL III</b>	Ing. Julio David Galicia Celada
<b>VOCAL IV</b>	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
<b>VOCAL V</b>	Br. Elisa Yazminda Vides Leva
<b>SECRETARIO</b>	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

<b>DECANO</b>	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Julio César Solares Peñate
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Marvin Marino Hernandez Fernández
<b>SECRETARIO</b>	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco



**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SIMPLIFICADO DE VOZ SOBRE IP PARA EL ÁREA RURAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el 12 de marzo de 2003

---

Juan Mauricio Calle Fuentes



## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	VII
<b>GLOSARIO</b>	XI
<b>RESUMEN</b>	XXI
<b>OBJETIVOS</b>	XXV
<b>HIPÓTESIS</b>	XXVII
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XXIX
<b>1. CONCEPTOS BÁSICOS DEL SISTEMA DE VOZ SOBRE IP</b>	<b>1</b>
1.1 Generalidades	1
1.2 Ventajas de la implementación de un sistema VoIP	2
1.3 Evolución de los sistemas de telefonía	3
1.4 Infraestructura del sistema convencional de telefonía	4
1.4.1 Señalización en sistemas de telefonía	6
1.5 Métodos de codificación y decodificación de voz	9
1.5.1 Tipos de CODEC	11
1.5.2 Detección de actividad de voz	14
1.5.3 Proceso de paquetización de audio	16
1.6 Parámetros para la medición de calidad de voz	18
1.7 Servicios ofrecidos por el sistema convencional de voz	20
1.7.1 Servicios PSTN: red pública conmutada	21
1.8 Evolución a un sistema de telefonía conmutada por paquetes	21
1.9 Comparación de un sistema conmutado por paquetes y uno convencional	22
1.10 Servicios ofrecidos por otras tecnologías	23
1.10.1 Voz sobre <i>Frame Relay</i>	23

1.10.2	Voz sobre ATM: CES	24
1.11	Definición de un sistema de telefonía rural	25
1.12	Arquitectura de la solución VoIP	26
1.13	Criterios del diseño	32
1.14	Consideraciones técnicas de calidad	34
1.14.1	Retardo y fluctuación ( <i>Jitter</i> )	34
1.14.1.1	Retardo algorítmico o de acumulación	35
1.14.1.2	Retardo de procesamiento	35
1.14.1.3	Retardo de red	36
1.14.1.4	Retardo de almacenamiento en cola ( <i>Buffer delay</i> )	36
1.14.1.5	Fluctuación de retardo ( <i>Jitter</i> )	37
1.14.1.6	Compensación por condiciones de eco	37
1.14.2	Pérdida de paquetes	38
1.14.3	Administración de calidad de servicio	39
1.15	Señalización en redes VoIP	40
1.15.1	H.323	42
1.15.2	SIP	44
1.15.3	MGCP / MEGACO	49
1.16	Resumen de protocolos VoIP	56
<b>2</b>	<b>CONSIDERACIONES DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN</b>	<b>59</b>
2.1	Generalidades	59
2.2	Requerimientos de la red	60
2.2.1	Tecnología de transmisión	60
2.3	Criterios para el diseño de la red de transmisión	63
2.3.1	Equipamiento y topología	63
2.3.2	Eficiencia de transmisión	66
2.3.3	Redundancia	67

2.3.4	Matriz de tráfico	67
2.4	Sincronización	69
2.4.1	Sincronización de la red de transporte	69
2.4.2	Sincronización de la red IP	71
2.5	Protocolos de transmisión: TCP, UDP y SCTP	73
2.6	Protocolo de transmisión de medios: RTP y RTCP	81
2.7	Ingeniería de tráfico	82
2.7.1	Reserva de recursos	83
2.7.2	Diferenciación de servicios	85
2.7.3	Conmutación por etiquetas	87
2.8	Cálculo de ancho de banda para VoIP	89
2.8.1	Ancho de banda del CODEC	89
2.8.2	Ancho de banda del encabezado	90
2.8.3	Optimización con sistemas VAD	93
2.8.4	Efecto de usuarios concurrentes	93
2.8.5	Ancho de banda para control y señalización	95
2.9	Red de transporte	97
2.10	Capa de acceso y última milla	101
2.11	Equipo de cliente y terminales VoIP	105
2.12	Interfaces y conectividad	106
<b>3</b>	<b>CONSIDERACIONES DEL SISTEMA DE CONMUTACIÓN</b>	<b>109</b>
3.1	Generalidades	109
3.2	Requerimientos generales de la red de conmutación	111
3.2.1	Propiedades de la red de conmutación	111
3.2.1.1	Modalidad de atención de tráfico	111
3.2.1.2	Accesibilidad	112
3.2.1.3	Mezcla	112
3.2.2	Propiedades del tráfico ofrecido	113

3.2.2.1	Hora cargada	113
3.2.2.2	Calidad de tráfico	113
3.2.3	Topología de la red de conmutación	114
3.3	Arquitectura del <i>SoftSwitch</i>	115
3.3.1	Consideraciones de señalización	115
3.3.2	Equipamiento y topología	116
3.3.3	Interoperabilidad	118
3.3.4	Gestión de elementos	121
3.4	Implementación de MEGACO / MGCP	122
3.5	Sistema de tarificación	123
<b>4</b>	<b>ANÁLISIS DE RED: PUNTO DE VISTA DEL TRÁFICO</b>	<b>129</b>
4.1	Generalidades	129
4.2	Teoría de tráfico en sistemas VoIP	130
4.3	Modelo de gravedad	132
4.4	Predicción de tráfico	134
4.5	Distribución de tráfico	142
4.6	Dimensionamiento de los elementos de red.	145
<b>5</b>	<b>LINEAMIENTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>155</b>
5.1	Generalidades	155
5.2	Administración del proyecto	157
5.2.1	Integración del proyecto	158
5.2.2	Administración del enfoque de actividades	158
5.2.2.1	Recomendaciones para el diseño de la planta externa	158
5.2.2.2	Recomendaciones para el diseño de las centrales	160

5.2.2.3	Recomendaciones para la construcción de la planta externa	160
5.2.2.4	Recomendaciones para la construcción de las centrales	161
5.2.2.5	Recomendaciones para el comisionamiento y puesta enservicio	161
5.2.3	Construcción del cronograma del proyecto	162
5.3	Sistema numérico de decisión	164
5.4	Procedimientos y requisitos legales	168
5.4.1	Plan de frecuencias	169
5.4.2	Plan de numeración	169
5.4.3	Elaboración de RFI	170
5.4.4	Elaboración de RFP	170
5.5	Evaluación del proyecto	170
	<b>CONCLUSIONES</b>	173
	<b>RECOMENDACIONES</b>	175
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	177
	<b>ANEXOS</b>	181



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1	Jerarquía de conmutadores PSTN	5
2	Señalización usuario-red	8
3	Señalización red a red	8
4	Topología general de la red C7	9
5	Comparación de calidad de voz por tipo de CODEC	10
6	Funcionamiento de sistemas VAD	15
7	Proceso de paquetización de audio	17
8	Proceso de recuperación de audio	18
9	Arquitectura del <i>Software</i> VoIP	28
10	Discado en dos fases	31
11	Topología general de VoIP	33
12	Arquitectura de H.323	42
13	Resumen de protocolos H.323	43
14	Funcionamiento de sistemas SIP Proxy	46
15	Topología general de red VoIP-SIP	48
16	Red VoIP con separación de medios	49
17	Red VoIP con arquitectura distribuida	52
18	Red VoIP con arquitectura MGCP/MEGACO	53
19	Resumen de protocolos VoIP	56
20	Integración tradicional de voz y datos	62
21	Capas de la red de transmisión	65
22	Matriz de tráfico simplificada para 3 nodos	68

23	Modelo de red de la solución general VoIP	74
24	Conexión de canales de señalización SIGTRAN	76
25	Protocolo SCTP esquematizado	77
26	Red de Transporte SIGTRAN	80
27	Reserva de recursos utilizando RESVP	84
28	Compresión de encabezado.	91
29	Efecto de suscriptores concurrentes utilizando VAD	95
30	Red de transporte SDH tradicional	98
31	Red de transporte SDH con interfaces <i>Ethernet</i>	99
32	Topología de acceso satelital	102
33	Topología de acceso 802.11x	103
34	Conexiones seguras para MG/MGCs	108
35	Modelo simplificado de la red de conmutación	109
36	Topología general de conmutación VoIP	114
37	Arquitectura de <i>Backplane</i>	117
38	Arquitectura basada en <i>Mid-Plane</i>	118
39	Interoperabilidad de <i>Softswitch</i> con C7	119
40	Topología del servidor BAMS	125
41	Modelo del sistema de tarificación	126
42	Distribución centralizada de tráfico	143
43	Interconexión satelital depto. de El Quiché	148
44	Agrupamiento topográfico de sitios	150
45	Interconexión de equipos en sitio MG	152
46	Organigrama del proyecto	156
47	Modelo de capas del protocolo SS7	187

## TABLAS

I	Comparación de sistemas conmutados	23
II	Tasas de bit y retardo para diversos tipos de CODEC	35
III	Estándares ETSI de sincronización	70
IV	Resumen de características de protocolos de Tx	80
V	Tasas de bit para diferentes tipos de CODEC	90
VI	Longitud de encabezados protocolos IP,UDP,RTP	90
VII	Proyección de suscriptores	135
VIII	Acumulación de suscriptores.	137
IX	Estimación de minutos de uso por población	138
X	Estimación de Erlang en hora cargada	140
XI	Estimación de BHCA en hora cargada	141
XII	Estadísticas Demográficas y de telefonía fija	146
XIII	Distribución estimada de líneas VoIP por municipio	147
XIV	Ancho de banda por canal, opción RTP y cRTP	151
XV	Ancho de banda total requerido: Dpto. El Quiché	151
XVI	Matriz de equipamiento por municipio	153
XVII	Cronograma general del proyecto	163
XVIII	Comparación Cualitativa CODEC	164
XIX	Punteo CODEC, relativo a la mejor muestra	165
XX	Asignación de pesos para variables críticas	165
XXI	Puntuación total de variables criticas: CODECs	165
XXII	Comparación de variables cualitativas	166
XXIII	Pesos asignados a variables cualitativas	166
XXIV	Punteo final de variables cualitativas	166
XXV	Punteo final sistemas CODEC	167



## GLOSARIO

<b>AAA</b>	<i>Authentication, Authorization and Accounting.</i> Sistema de contabilidad, autorización y autenticación, referido a las funciones del servidor de tarificación.
<b>AAL-X</b>	<i>ATM Adaptation Layer – X.</i> Capa de adaptación de servicios sobre ATM (1 a 5).
<b>AbS</b>	<i>Analysis By Synthesis.</i> Referido a sistemas CODEC, Análisis por Sintetización de formas de onda.
<b>ACELP</b>	<i>Algebraic Code Excited Linear Prediction.</i> Predicción lineal por excitación de código.
<b>ADPCM</b>	<i>Adaptive Differential Pulse Code Modulation.</i> Modulación Adaptable-Diferencial por Codificación de pulsos.
<b>AHT</b>	<i>Average Holding Time.</i> Tiempo promedio de ocupación.
<b>AMA</b>	<i>Automatic Message Accounting.</i> Sistema de contabilidad automatizada basada en mensajes.
<b>ANSI</b>	<i>American National Standards Institute.</i> Instituto Nacional Americano de Estándares.
<b>ATM</b>	<i>Asynchronous Transfer Mode.</i> Modo de Transferencia Asíncrona.
<b>BAF</b>	<i>Bellcore AMA.</i> Registros propietarios <i>Bellcore</i> AMA, referido a sistemas de tarificación.
<b>BAMS</b>	<i>Billing And Measurements Server.</i> Servidor de Contabilidad y Mediciones, referido al sistema de tarificación propietario de CISCO.

<b>BGP</b>	<i>Border Gateway Protocol.</i> Protocolo de puerta de enlace en frontera, referido al protocolo de enrutamiento.
<b>BHCA</b>	<i>Busy Hour Call Attempts.</i> Intentos de llamada en la hora cargada.
<b>BRI</b>	<i>Basic Rate Interface.</i> Interfaz de tasa básica (referido a interfaces 2B+D de ISDN 192 kbps).
<b>C7</b>	<i>Signalling System 7.</i> Sistema de señalización 7. (SS7)
<b>CBR</b>	<i>Constant Bit Rate.</i> Tasa de bit constante.
<b>CDR</b>	<i>Call Detail Records.</i> Registros detallados de llamadas, referidos a los reportes generados por los servidores de tarificación.
<b>CELP</b>	<i>Code Excited Linear Prediction.</i> Predicción Lineal por excitación de código.
<b>CES</b>	<i>Circuit Emulation Service.</i> Servicio de Emulación de Circuitos, referido a la red ATM.
<b>CLASS</b>	<i>Custom local-area signalling service.</i> Servicio personalizado de señalización de área local, referido a subsistemas de SCCP, como remarcado automático.
<b>CLI</b>	<i>Command Line Interface.</i> Interfaz de línea de comandos.
<b>CODEC</b>	<i>Coder-Decoder.</i> Codificador-decodificador.
<b>CORBA</b>	<i>Common Object Request Broker Architecture.</i> Arquitectura de ajustadores para la solicitud de objetos comunes, referidos a sistemas de administración de elementos.
<b>CPE</b>	<i>Customer Premises Equipment.</i> Equipo instalado en el sitio del cliente, puede referirse a un equipo de concentración de usuarios.
<b>CRTP</b>	<i>Compressed RTP.</i> RTP con encabezado comprimido.
<b>CS-ACELP</b>	<i>Conjugate Structure Algebraic Code Excited Linear Prediction.</i> Predicción lineal por excitación de código con estructura conjugada.

<b>CTS</b>	<i>Central-office Tandem Switch.</i> Conmutador de oficina central.
<b>Diffserv</b>	Protocolo de diferenciación de servicios IP.
<b>DLCI</b>	<i>Digital Link Connection Identifier.</i> Identificador de conexión de enlace digital, referido a redes <i>Frame Relay</i> .
<b>DPLC</b>	<i>Digital Power Line Carrier.</i> Transporte de datos sobre líneas de energía eléctrica.
<b>DS0</b>	Señal digital de 64 kbps.
<b>DSL</b>	<i>Digital Subscriber Line.</i> Línea Digital de Suscriptor.
<b>DSSS</b>	<i>Direct Sequence Spread Spectrum.</i> Espectro compartido por secuencia directa, referido a tecnología de reutilización de frecuencias radioeléctricas.
<b>DSP</b>	<i>Digital Signal Processor.</i> Procesador de señales digitales.
<b>DTMF</b>	<i>Dual Tone Multi Frequency.</i> Tono dual multi-frecuencia.
<b>E1</b>	Interfaz estándar ETSI-ISDN PRI 2.048 Mbps.
<b>EMS</b>	<i>Element Management System.</i> Sistema de administración de elementos de red.
<b>ETSI</b>	<i>European Telecommunications Standards Institute.</i> Instituto europeo de estándares de telecomunicaciones.
<b>FE</b>	<i>Fast Ethernet.</i> Interfaz <i>Ethernet</i> de alta velocidad (100Mbps), de acuerdo con IEEE 802.3.
<b>FEC</b>	<i>Forwarding Equivalence Class.</i> Clase de reenvío por equivalencia, referido al proceso de reenvío de paquetes en redes MPLS.
<b>FHSS</b>	<i>Frequency Hopping Spread Spectrum.</i> Espectro compartido por saltos de frecuencia, referido a tecnología de reutilización de frecuencias radioeléctricas.
<b>FIFO</b>	<i>First in First out.</i> Memoria de acceso secuencial, Primer dato en entrar es el primer dato en salir.

<b>FRAD</b>	<i>Frame Relay Access Device.</i> Dispositivo de acceso a redes <i>Frame Relay.</i>
<b>FTP</b>	<i>File Transfer Protocol.</i> Protocolo de transferencia de archivos.
<b>FXO</b>	<i>Foreign Exchange Office.</i> Interfaz de oficina central.
<b>FXS</b>	<i>Foreign Exchange Subscriber.</i> Interfaz de suscriptor.
<b>Gateway</b>	Puerta de enlace.
<b>Gatekeeper</b>	Agente supervisor de puerta de enlace.
<b>GbE</b>	<i>Gigabit Ethernet.</i> Interfaz <i>Gigabit Ethernet</i> a 1000Mbps de acuerdo con lo estipulado en IEEE 802.3.
<b>GMPLS</b>	<i>Generic Multi-Protocol Labeling Switching.</i> Conmutación por etiquetado de protocolos múltiples, estándar generalizado.
<b>GTT</b>	<i>Global Title Translation.</i> Servicio de transición global de títulos, función avanzada de la red C7.
<b>GUI</b>	<i>Graphical User Interface.</i> Interfaz gráfica de usuario.
<b>HTS</b>	<i>High-order Tandem Switch.</i> Conmutador de alto orden.
<b>IAT</b>	<i>Inter.-Arrival Time.</i> Tiempo entre llamadas.
<b>IETF</b>	<i>Internet Engineering Task Force.</i> Fuerza de ingeniería de <i>Internet</i> , referido a la institución reguladora de las normativas de <i>Internet.</i>
<b>IFW</b>	<i>Inter-working Function.</i> Función de interoperabilidad (Referido a redes de voz y datos).
<b>IN</b>	<i>Intelligent Network.</i> Red Inteligente (referido a la red C7).
<b>IP</b>	<i>Internet Protocol.</i> Protocolo de <i>Internet.</i>
<b>IPDC</b>	<i>Internet Protocol Device Control.</i> Protocolo de <i>Internet</i> para control de dispositivos.
<b>ISDN</b>	<i>Integrated Services Digital Network.</i> Red digital de servicios integrados.

<b>ISIS</b>	<i>Intermediate System to Intermediate System.</i> Protocolo de enrutamiento basado en transferencia de mensajes de estado de enlace en la red para visualizar la topología de la red.
<b>ISUP</b>	<i>ISDN User Part.</i> Parte de usuario para ISDN (C7).
<b>ITSP</b>	<i>Internet Telephony Service Provider.</i> Proveedor de servicios de telefonía por <i>Internet</i> .
<b>IUA</b>	<i>ISDN User Adaptation Layer.</i> Capa de adaptación de usuario ISDN.
<b>L2</b>	<i>Layer 2.</i> Capa 2, referido al modelo de red en capas OSI.
<b>L3</b>	<i>Layer 3.</i> Capa 3, referido al modelo de red en capas OSI.
<b>LD-CELP</b>	<i>Low Delay Code Excited Linear Prediction.</i> Predicción lineal por excitación de código de bajo retardo.
<b>LL</b>	<i>Local Loop.</i> Lazo Local (referido a la interconexión de usuarios).
<b>LSP</b>	<i>Label Switched Path.</i> Ruta Conmutada por Etiqueta (referido a MPLS).
<b>LTS</b>	<i>Local Tandem Switch.</i> Conmutador Local.
<b>M2UA</b>	<i>MTP2 User Adaptation Layer.</i> Capa de adaptación de usuario de MTP2, referido a la red ISDN.
<b>M3UA</b>	<i>MTP3 User Adaptation Layer.</i> Capa de adaptación de usuario de MTP3, referido a la red ISDN.
<b>MEGACO</b>	<i>Media Gateway Control / H.248.</i> Protocolo de control de puertas de enlace de acuerdo con la norma UIT-T H.248.
<b>MIB</b>	<i>Management Information Base.</i> Base de datos de objetos de red utilizada por SNMP, y otros sistemas de administración de elementos de red.
<b>MF</b>	<i>Multi Frequency.</i> Multifrecuencia (referido a los esquemas de señalización analógica Central – Abonado).
<b>MG</b>	<i>Media Gateway.</i> Puerta de enlace para medios, elemento de interfaz de la red IP a la PSTN de telefonía convencional.

<b>MGC</b>	<i>Media Gateway Controller.</i> Controlador de puertas de enlace de medios.
<b>MGCP</b>	<i>Media Gateway Control Protocol.</i> Protocolo de control de puerta de enlace de medios.
<b>MHT</b>	<i>Mean Holding Time.</i> Sinónimo con AHT, tiempo medio de ocupación.
<b>MOS</b>	<i>Mean Opinion Score.</i> Sistema de calificación de opinión media (referente a la calidad de voz percibida por observadores humanos).
<b>MoU</b>	<i>Minutes of Use.</i> Minutos de ocupación.
<b>MP-MLPQ</b>	<i>Multi Pulse, Multi- Level Quantization.</i> Cuantización multi-nivel / multi-pulso.
<b>MPLS</b>	<i>Multi Protocol Labeling Switching.</i> Conmutación por etiquetado de protocolos múltiples.
<b>MS-SPRing</b>	<i>Multiplex Section Shared Protection Ring.</i> Protección de Sección de Multiplexación por Anillo Compartido, referido al esquema general de protección de anillo sobre SDH.
<b>MTBF</b>	<i>Mean Time Between Failures.</i> Tiempo medio entre fallas.
<b>MTP2</b>	<i>Message Transfer Part – Layer 2.</i> Parte Transferente de mensajes en capa 2 del conjunto de protocolos C7.
<b>MTP3</b>	<i>Message Transfer Part – Layer 3.</i> Parte Transferente de mensajes en capa 3 del conjunto de protocolos C7.
<b>NAT</b>	<i>Network Address Translation.</i> Protocolo traductor de direcciones de red.
<b>NIF</b>	<i>Node Interworking Function.</i> Función de interoperabilidad de nodo.
<b>NMS</b>	<i>Network Management System.</i> Sistema de Administración de Red.

<b>NNI</b>	<i>Network to Network Interface.</i> Interfaz de red a red, referido a redes <i>Frame Relay</i> y/o ATM.
<b>NTP</b>	<i>Network Time Protocol.</i> Protocolo de temporización de red.
<b>OSPF</b>	<i>Open Shortest Path First.</i> Protocolo de asignación de prioridades por primer camino abierto más corto.
<b>PAMS</b>	<i>Perceptual Analysis Measurement System.</i> Sistema de medición por análisis de percepción.
<b>PCM</b>	<i>Pulse Code Modulation.</i> Modulación por codificación de pulsos.
<b>PDH</b>	<i>Plesiochronous Digital Hierarchy.</i> Jerarquía digital plesiócrona.
<b>PESQ</b>	<i>Perceptual Evaluation of Speech Quality.</i> Evaluación perceptual de la calidad de voz.
<b>PHB</b>	<i>Per Hop Behaviour.</i> Comportamiento de paquetes por salto, referido al reenvío de paquetes en la red IP.
<b>PLC</b>	<i>Power Line Carrier.</i> Transporte de datos sobre líneas de energía eléctrica.
<b>POTS</b>	<i>Plain Old Telephone Service.</i> Servicio convencional de telefonía.
<b>PPP</b>	<i>Point to Point Protocol.</i> Protocolo punto a punto.
<b>PRI</b>	<i>Primary Rate Interface.</i> Interfaz de tasa de bit primaria (ISDN).
<b>PRC</b>	<i>Primary Reference Clock.</i> Reloj de referencia primaria, referido a sistemas de sincronización de red.
<b>PSQM</b>	<i>Perceptual Speech Quality Measurement.</i> Medición perceptual de la calidad de voz.
<b>PSTN</b>	<i>Public Switched Telephone Network.</i> Red telefónica pública conmutada.
<b>PVC</b>	<i>Permanent Virtual Connection.</i> Conexión virtual permanente, referente a redes <i>Frame Relay</i> .
<b>QoS</b>	<i>Quality of Service.</i> Calidad de servicio.

<b>RFI</b>	<i>Request For Information.</i> Solicitud de información, a proveedores
<b>RFP</b>	<i>Request For Proposal.</i> Solicitud de cotización, a proveedores.
<b>RSVP</b>	<i>Resource Reservation Protocol.</i> Protocolo de reserva de recursos.
<b>RSVP-TE</b>	<i>Resource Reservation Protocol with Traffic Engineering.</i> Protocolo de reserva de recursos con ingeniería de tráfico.
<b>RTCP</b>	<i>RTP Control Protocol.</i> Protocolo de control de RTP.
<b>RTP</b>	<i>Real Time Transport Protocol.</i> Protocolo de Transporte en Tiempo Real.
<b>SCCP</b>	<i>Signalling Connection Control Part.</i> Sección de control de conexión de señalización en la red C7.
<b>SCTP</b>	<i>Stream Control Transmission Protocol.</i> Protocolo de control de transmisión de flujos.
<b>SDH</b>	<i>Synchronous Digital Hierarchy.</i> Jerarquía digital sincrónica.
<b>SDP</b>	<i>Session Description Protocol.</i> Protocolo de descripción de sesión, referido a los mensajes de señalización del <i>Softswitch</i> .
<b>SG</b>	<i>Signalling Gateway.</i> Puerta de enlace de señalización.
<b>SGCP</b>	<i>Simple Gateway Control Protocol.</i> Protocolo simplificado para control de puerta de enlace.
<b>SID</b>	<i>Silence Descriptor.</i> Indicador de Silencio, referido a tramas de descripción de silencio en sistemas que utilizan VAD.
<b>SIGTRAN</b>	<i>Signalling Transport.</i> Grupo Consultivo IETF Protocolos de transporte de señalización sobre IP.
<b>SIP</b>	<i>Session Initiation Protocol.</i> Protocolo de inicio de sesión.
<b>SNCP</b>	<i>Sub-Network Connection Protection.</i> Protección de conexiones de la sub-red (Esquema de protección SDH).
<b>SNMP</b>	<i>Simple Network Management Protocol.</i> Protocolo simple de administración de red.

<b>Softswitch</b>	Conmutador controlado por <i>Software IP</i> , aplicado al elemento principal de la red VoIP.
<b>SONET</b>	<i>Synchronous Optical Network</i> . Red óptica Sincrónica.
<b>SS7</b>	<i>Signalling System 7</i> . Sistema de Señalización 7 (C7).
<b>SSU</b>	<i>Slave Synchronization Unit</i> . Unidad esclava de sincronización, referido a redes de sincronía dependientes de un PRC.
<b>STP</b>	<i>Signal Transfer Point</i> . Puerto de transferencia de señalización, referido a elementos de la red C7.
<b>SUA</b>	C7-SCCP <i>User Adaptation Layer</i> . Capa de adaptación SCCP sobre C7.
<b>SVC</b>	<i>Switched Virtual Connection</i> . Conexión conmutada virtual, Referido a redes <i>Frame Relay</i> .
<b>T1</b>	Interfaz estándar ANSI-ISDN PRI 1.544 Mbps
<b>TCP</b>	<i>Transmission Control Protocol</i> . Protocolo de control de transmisión.
<b>TDM</b>	<i>Time Division Multiplexing</i> . Multiplexación por división de tiempo.
<b>TDMA</b>	<i>Time Division Multiple Access</i> . Acceso múltiple por división de tiempo.
<b>TOS</b>	<i>Type of Service</i> . Tipo de servicio aplicado a esquemas de ingeniería de tráfico sobre la red IP.
<b>UDP</b>	<i>User Datagram Protocol</i> . Protocolo de datos de usuario.
<b>UIT</b>	Unión Internacional de Telecomunicaciones
<b>UNI</b>	<i>User to Network Interface</i> . Interfaz de usuario a red, referido a redes <i>Frame Relay</i> y/o ATM.
<b>URL</b>	<i>Uniform Resource Locators</i> . Localizadores uniformes de recursos, referido a la nomenclatura de las direcciones de servidores de <i>Internet</i> .

<b>V5UA</b>	<i>V5.2 User Adaptation Layer</i> . Capa de adaptación de V5.2, referido a la funcionalidad de la SG.
<b>VAD</b>	<i>Voice Activity Detection</i> . Sistema de detección de señal de voz.
<b>VBR</b>	<i>Variable Bit Rate</i> . Tasa de bit Variable.
<b>VC</b>	<i>Virtual Container</i> . Contenedor Virtual, en redes SDH.
<b>VC12</b>	<i>Virtual Container 12</i> . Contenedor virtual 12, capacidad de carga de 2Mbps.
<b>VC3</b>	<i>Virtual Container 3</i> . Contenedor virtual 3, capacidad de carga de hasta 45Mbps.
<b>VLAN</b>	<i>Virtual Local Area Network</i> Red de área local virtual de acuerdo con lo establecido en IEEE 802.1Q.
<b>VoATM</b>	<i>Voice over Asynchronous Transfer Mode</i> . Voz sobre ATM.
<b>VOCODER</b>	CODEC sintetizado.
<b>VoFR</b>	<i>Voice over Frame Relay</i> . Voz sobre <i>Frame Relay</i> .
<b>VoIP</b>	<i>Voice over Internet Protocol</i> . Voz sobre IP.
<b>VSAT</b>	<i>Very Small Aperture Terminal</i> . Terminal de apertura muy reducida, referido a terminales satelitales.
<b>VSC</b>	<i>Virtual Switch Controller</i> . Controlador de conmutador virtual.
<b>WAN</b>	<i>Wide Area Network</i> . Red de área extendida.
<b>WLL</b>	<i>Wireless Local Loop</i> . Lazo local inalámbrico.
<b>WLAN</b>	<i>Wireless Local Area Network</i> . Red de área local inalámbrica, de acuerdo con IEEE 802.11x. (estándares b y g).

## RESUMEN

Los sistemas de telecomunicaciones modernos han evolucionado de manera vertiginosa en los últimos años, y se ha establecido una tendencia a la integración de servicios de voz y datos. El trabajo presentado a continuación se enfoca primordialmente en establecer los criterios necesarios para la toma de decisiones de un proyecto de implementación de VoIP en un área sin cobertura actual, como alternativa a implementar sistemas tradicionales.

Se describen primero, las características técnicas, tanto de sistemas VoIP como de sistemas convencionales y su evolución, exponiendo también, algunas de las principales ventajas que tendría una solución VoIP. Luego, se comparan las características par a par de sistemas conmutados por circuitos (TDM) y los conmutados por paquetes (IP), exponiendo las fortalezas y debilidades de cada alternativa. También se mencionan las técnicas de provisión de servicios de voz sobre ATM y *Frame Relay*, explicando el porqué no representan una plataforma idónea para el crecimiento de servicios de voz. Luego se describe detalladamente, los bloques de funcionamiento de sistemas VoIP y las opciones que se tienen actualmente para construir esta nueva red.

Teniendo estos elementos de juicio, lo suficientemente claros, se procede a definir el sistema de telefonía rural, describiendo sus componentes y su diseño desde el punto de vista de la red de transmisión (Transporte y Acceso), de la red de conmutación y de la distribución de tráfico.

También se mencionan las posibles limitaciones que el sistema pueda presentar en cuanto a la provisión de calidad de servicio (QoS), y de los mecanismos que existen para proveer a la red IP de cierto nivel de control sobre los patrones de tráfico, dicho de otra forma, el como proveer de ingeniería de tráfico a la red IP, tomando en cuenta las posibles topologías de transporte y acceso, y las opciones que se tienen actualmente. Se exponen también, los protocolos de transporte que pueden implementarse, haciendo énfasis en recientes implementaciones como SCTP, como alternativa para establecer la red de señalización sobre IP y su interoperabilidad con la red C7 e ISDN.

En cuanto a la red de conmutación, se hacen ciertas analogías con la teoría tradicional de tráfico telefónico, para describir la situación en el caso de la red VoIP en cuanto a su topología y jerarquía de sistemas de conmutación. Es importante también describir las opciones de equipamiento de los sistemas que conformarán la red, y describir las opciones que existen para el sistema de gestión y tarificación de los servicios.

Basándose en las estadísticas demográficas y de telecomunicaciones, se procede a construir un escenario de prueba con un departamento del interior, que cuenta con la menor penetración de servicios de telecomunicaciones. Se trabaja entonces, en desarrollar las tablas de estimación de tráfico para poder dimensionar la red de transmisión del sistema. Adicional a esto, se trabaja con un sistema de pesos para decidir sobre la tecnología CODEC a implementar, dado a que es crítico, para calcular el ancho de banda requerido.

Finalmente, teniendo todos los pasos anteriores, se procede a proponer los lineamientos de la implementación y administración del proyecto, presentando un organigrama de personal responsable y un cronograma lo suficientemente detallado. Al final se hace un análisis económico del retorno de inversión para determinar la factibilidad del proyecto en sí.



## OBJETIVOS

### General

- Definir los lineamientos técnicos y teóricos de la implementación de un sistema de red de voz sobre IP orientado a proveer conectividad a regiones geográficamente dispersas, garantizando una calidad de servicio y escalabilidad aceptable para competir con sistemas tradicionales de voz sobre TDM.

### Específicos

1. Exponer y describir las arquitecturas más comunes de las soluciones de voz sobre IP, y establecer los criterios de comparación entre las mismas para determinar las ventajas y desventajas de implementar una solución homogénea o una solución que adopte diversas arquitecturas para diferentes requerimientos de los usuarios.
2. Exponer los mecanismos de codificación, paquetización y conversión de señalización de los servicios de voz sobre una red IP, y su interacción con las redes públicas conmutadas PSTN.
3. Exponer los métodos más comunes para la implementación de ingeniería de tráfico en redes IP, describiendo los mecanismos implementados por los protocolos de control de transmisión , y de aseguramiento de la calidad de servicio.

4. Exponer un método sencillo de ponderación numérica de variables críticas, necesario para la toma de decisión técnica según parámetros conocidos ó proporcionados por diversos fabricantes.

## **HIPÓTESIS**

¿Se podría proveer servicios de telefonía básica a comunidades del área rural, a un costo menor utilizando sistemas de provisión de servicios de telefonía básica IP, como alternativa a los sistemas convencionales TDM?



## INTRODUCCIÓN

La provisión de sistemas eficientes de comunicación es de vital importancia para que los países subdesarrollados provean a su población rural de las conexiones a la red pública de telefonía e Internet, contribuyendo así con el intercambio cultural y de conocimiento requerido para el desarrollo de dicha población. Al considerar que más de la mitad de la población del mundo jamás ha hecho una llamada telefónica, la implementación de dichos sistemas toma una especial importancia para el avance social y tecnológico de los pueblos.

Según estudios realizados por la UIT, se sabe que la falta de conectividad de las empresas de telecomunicaciones sigue siendo la barrera primordial para el desarrollo en el área rural. En el caso de la población rural de Guatemala ha tenido un crecimiento demográfico del 5.15% en el periodo de 1998 a 2000, lo cual incrementa la necesidad de comunicación de este sector de la población.

Según la SIT, para mediados el año 2002 el número de líneas telefónicas instaladas en el país era de poco más de 800,000. Tomando en cuenta que dicho número corresponde a una población que en ese año excedía los 11.2 millones de habitantes en el censo realizado en el 2002, si existiese una relación lineal entre estas dos cantidades existiría una línea telefónica por cada 14 personas aproximadamente, obviamente la distribución no es uniforme.

En departamentos como El Quiché, las estadísticas no son alentadoras, existen aproximadamente 94 personas por línea fija instalada y la situación no está mejorando dado a que el crecimiento demográfico en las comunidades rurales de este departamento es mayor en comparación al crecimiento de los servicios de telecomunicaciones. Es por esta razón que es necesario buscar alternativas más económicas para la provisión de estos servicios a las comunidades que más lo necesitan.

# **1. CONCEPTOS BÁSICOS DEL SISTEMA DE TELEFONÍA VOIP**

## **1.1. Generalidades**

Existen varias alternativas para proveer servicios de telefonía fija, algunas son adecuadas para su implementación en el área rural, otras están más orientadas al mercado de servicios corporativos en el área metropolitana. En el caso general los servicios se entregan utilizando tecnología TDM, pero también se pueden utilizar sistemas alternativos basados en conmutación de paquetes. El trabajo se enfocará en la comparación cualitativa y cuantitativa de estos sistemas para generar los argumentos válidos para la implementación de una solución alternativa viable para el área rural.

Es importante, entonces, determinar las fortalezas y debilidades de los sistemas tradicionales de telefonía fija y móvil antes de evaluar un sistema alternativo y responder a la pregunta fundamental del trabajo: ¿vale la pena implementar un sistema alternativo de servicios de voz en el área rural, a pesar de existir un sistema funcional ya implementado?

Sabemos que los servicios de telefonía, por su naturaleza, requieren muestreo de señales de audio de forma constante en el tiempo, para mantener una calidad aceptable. Teniendo en cuenta esto, se diseñaron los sistemas TDM que hasta hoy transportan la mayoría de canales de voz del mundo.

El protocolo IP como tal, no es un sistema que garantice el 100% de disponibilidad de los servicios en el tiempo y está diseñado para tráfico esporádico en "ráfagas" y requiere de un mecanismo adicional ó protocolo de transporte para asegurar la integridad de los datos en el lado remoto. Entonces surge la pregunta: ¿porqué transportar servicios de voz sobre IP cuando los sistemas actuales lo hacen tan bien? Y esta es la pregunta que se intentará responder a lo largo del desarrollo del trabajo.

Para poder integrar un sistema de VoIP al sistema actual de telefonía, es conveniente conocer los mecanismos empleados por el sistema actual de conmutación, señalización, transporte y distribución de servicios, para conocer todos los requerimientos y limitaciones para homologar el nuevo sistema al existente.

El desarrollo de este capítulo contempla la descripción de los sistemas y mecanismos tradicionales que son relevantes para la aplicación en cuestión, a Luego se expondrán las opciones alternativas, detallando sus ventajas y desventajas relativas a los métodos tradicionales.

## **1.2. Ventajas de un sistema voz sobre IP**

El desarrollo de un sistema de IP para la transmisión de voz y datos a través de una infraestructura común tiene los siguientes beneficios:

- Integración de voz, datos y multimedia
- Optimización de uso de recursos de transmisión
- Implementación de clases de servicio
- Nuevas aplicaciones (Servicios digitales, vídeo-telefonía, etc.)

Dichos beneficios serán expuestos a lo largo del desarrollo de este trabajo. Estos beneficios se hacen particularmente importantes en un entorno donde la infraestructura es limitada como en el área rural.

### **1.3. Evolución de los sistemas de telefonía**

El sistema de conmutación, distribución, transmisión y acceso que conforma la infraestructura actual de las empresas proveedoras de servicios de telefonía ha estado en constante evolución durante las últimas décadas, incluyendo, recientemente, servicios de datos y multimedia. Desde que Alexander Graham Bell hizo la primera transmisión de voz por alambre de cobre en 1876, la inventiva del hombre, ha mejorado y añadido funcionalidad a aquel invento que mostraba, en su momento, el potencial de cambiar la forma que el mundo se comunicaba.

Fue mucho después, que un sistema practico de distribución de telefonía se implementara en el mundo. El mismo contaba con un numero limitado de suscriptores, por lo general solo las elites y entidades gubernamentales tenían acceso a tan novedoso sistema de comunicación el cual debía contar con un operador humano para efectuar las conexiones entre abonados. Años después, el operador humano fue reemplazado por sistemas mecánicos y electromecánicos y, eventualmente por sistemas electrónicos más eficientes.

Actualmente, con la introducción de la telefonía móvil, Internet y Multimedia, se habla de una nueva forma de provisión de servicios de comunicación. La utilización del protocolo de Internet, para la transmisión, optimización y diversificación de servicios de comunicación hablada, puede ser una definición regular para la solución de voz sobre IP, punto principal de enfoque de este trabajo. La comparación de los parámetros y criterios cualitativos y cuantitativos deducidos de la información expuesta, será la herramienta principal para la elaboración de un análisis que nos ayude a tomar una decisión en cuanto a la tecnología a adoptar para un proyecto generalizado de telefonía básica en el área rural.

Como parte de la descripción evolutiva de los sistemas de provisión de servicios de voz, se iniciará describiendo las características principales de los sistemas convencionales como las alternativas de provisión de servicios VoIP y los parámetros de comparación, tomando en cuenta las ventajas expuestas en la sección anterior.

#### **1.4. Infraestructura del sistema convencional de telefonía**

Toda la infraestructura detrás de una conversación telefónica dentro de la red publica empieza con una conexión de pares de cobre desde una central operada por la compañía de teléfonos y hacia las unidades terminales. Esta conexión se denomina de "lazo local", será definida de aquí en adelante como LL por sus siglas en ingles *Local Loop*. En el caso general se asume que los LL se valen de medios eléctricos por transmisión en alambres de cobre, pero los mismos pueden constituirse por enlaces inalámbricos a lo cual se le asignara la nomenclatura WLL por sus siglas en ingles *Wireless Local Loop*.

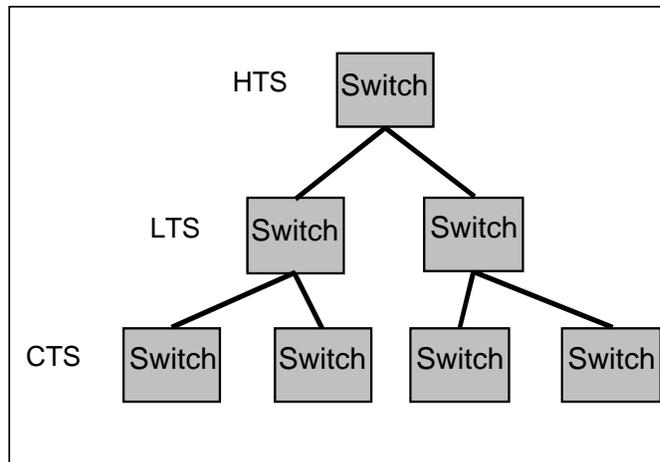
La red telefónica actual se compone de un conjunto de centrales y abonados. Como fue definido anteriormente los enlaces entre centrales y abonados se denominan LL, o WLL y los enlaces entre centrales o conmutadores se designan con el nombre de "troncales". La red de conmutación puede adoptar varias tipologías según sea conveniente para cada caso. Existen topologías en malla/anillo, en estrella, en árbol.

Las centrales se denominan también conmutadores y pueden estar clasificadas según su jerarquía dentro de la red, de la siguiente forma:

- *High-Order Tandem Switch*, o HTS
- *Local Tandem Switch*, siglas LTS
- *Central Office Tandem Switch*, siglas CTS

Y se distribuyen dentro de la topología de la siguiente forma:

**Figura 1: Jerarquía de conmutadores PSTN**



Fuente: Johnathan Davidson, James Peters. *Voice over IP Fundamentals*, P.11

En general, las redes de conmutadores reales implementan en topologías en estrella, malla y anillo ó en una combinación de acuerdo a los requerimientos de la red y de la concentración de usuarios. En la práctica, la red de conmutadores esta superpuesta a una red de transmisión.

#### **1.4.1. Señalización de sistemas de telefonía convencional**

En general, la red de telefonía convencional posee dos tipos de señalización:

- Señalización Usuario - Central, (*User to Network Signalling*).
- Señalización Central - Central, (*Network to Network Signalling*).

La señalización Usuario - Central utiliza como medio de transporte, por lo general, los pares de cobre. Usando este medio de transmisión lleva señales analógicas, ISDN, o bien puede viajar a través de una facilidad de transmisión digital (E1 o T1).

Es importante conocer los tipos de señalización de los sistemas convencionales ya que es necesario interactuar con los mismos para poder interconectar la red de voz sobre IP con la red de telefonía publica o PSTN.

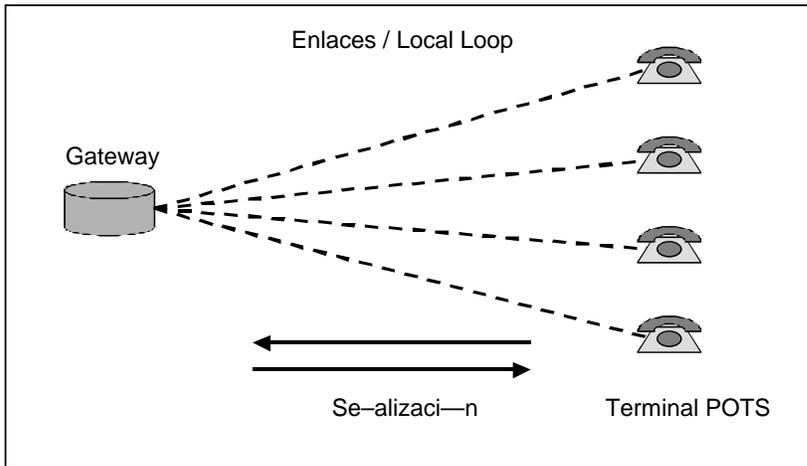
En un sistema convencional se utilizan varias formas de señalización de suscriptor las cuales varían según aplicación. La señalización es la encargada de iniciar, mantener y terminar las conexiones telefónicas de extremo a extremo.

El sistema a implementar debe ser capaz de emular dicha señalización en el caso general de interconexión con la PSTN y la infraestructura de telefonía convencional. Dentro de los elementos que forman parte esencial de nuestro sistema figuran los *Gateways* o puertas de enlace que en el caso general se encargan de traducir la señalización y decodificar los paquetes de audio procedentes de nuestra red IP y hacia la red pública conmutada para la interconexión con otros usuarios ajenos al sistema.

Dichos *Gateways*, deben también interpretar la señalización de la PSTN y por lo general utilizan interfaces ISDN utilizando señalización digital. En general se entiende por *Gateway* ó puerta de enlace, al dispositivo que enruta paquetes de voz de un punto a otro de la red y provee de otros servicios para facilitar dicho enrutamiento, el cual no puede ser procesado por otras puertas de enlace específicamente diseñadas para datos.

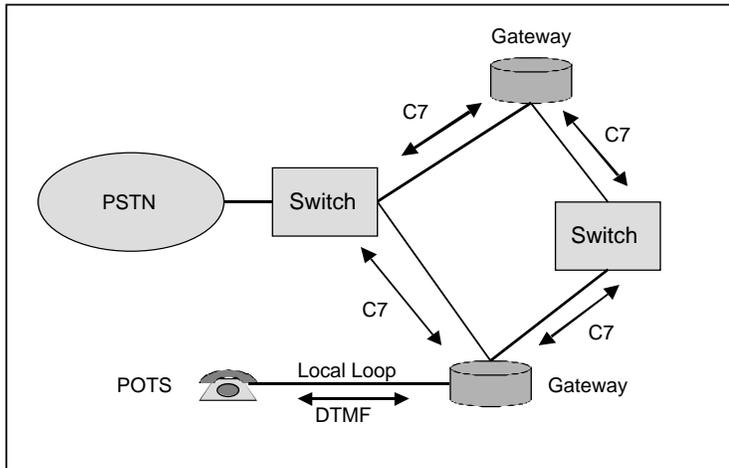
En el caso que las unidades terminales de telefonía sean teléfonos convencionales, la señalización de lazo de suscriptor a implementar desde los puntos de presencia hacia dichas unidades debe ser compatible con las mismas. La señalización más común a soportar es DTMF o señalización en banda en la cual los tonos de marcado se llevan dentro del canal de voz.

**Figura 2: Señalización usuario – red**

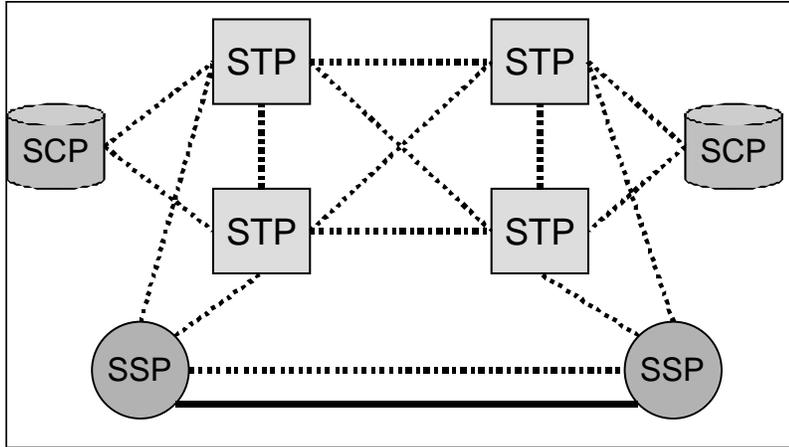


En el caso de enlaces entre los elementos de control y enrutamiento de tráfico de voz sobre IP y centrales telefónicas (Interconexión a operadores, por ejemplo), se utiliza señalización red a red a través de facilidades de transmisión digital E1 (2048 kbps), utilizando señalización red a red SS7 ó C7 como se muestra a continuación:

**Figura 3: Señalización red a red**



**Figura 4: Topología general de la red C7**



*Fuente: Johnathan Davidson, James Peters. Voice over IP Fundamentals, P.81*

En la figura anterior se muestra la arquitectura de la señalización red a red para la interconexión de redes C7 de manera robusta donde se cuentan con múltiples puntos de transferencia de señalización (STP), y elementos de control. Veremos más adelante que la topología de interconexión VoIP / PSTN no debe acoplarse a este esquema.

### **1.5. Métodos de codificación y decodificación de voz**

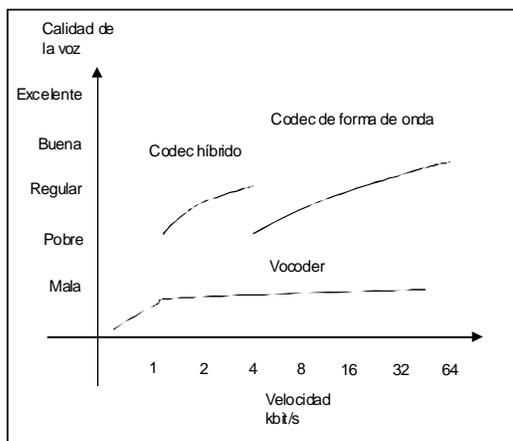
Todos los sistemas modernos de telecomunicaciones funcionan en un formato digital para la transferencia de información de un sitio a otro, por tanto, toda señal de voz analógica que viaja desde el cuerpo humano a un transductor que la convierte en pulsos eléctricos debe someterse a un proceso de muestreo y posterior cuantización no uniforme en un sistema codificador para señales entrantes y decodificador para señales salientes.

Los sistemas que codifican y decodifican las señales de voz se conocen con el nombre de CODEC, y existen tres categorías principales:

- CODEC de forma de onda (*Waveform* CODEC)
- VOCODER
- CODEC Híbrido

Los CODEC de forma de onda, son los que prestan la mayor fidelidad en cuanto a la preservación de la forma de onda original, pero no soportan tasas de compresión considerables ya que solamente se han desarrollado sus capacidades de compresión hasta 16 kbps, (compresión 4 a 1). Los VOCODER son sistemas que, por lo general, se utilizan en aplicaciones de militares y para la industria aeronáutica, y poseen la tasa más alta de compresión, pero también la calidad de voz más deficiente teniendo un tono más o menos sintético. Los CODEC híbridos aportan lo mejor de los dos mundos, la capacidad de compresión del VOCODER con una fidelidad comparable a un CODEC de forma de onda convencional. A continuación una gráfica que pone en perspectiva las características de las tres tecnologías:

**Figura 5: Comparación de calidad de voz por tipo de CODEC**



Fuente: Daniel Collins. *Carrier Grade Voice over IP*, P.89

### 1.5.1. Tipos de codificadores / decodificadores de voz

Existen varias opciones en cuanto a la selección de CODECS para transformar las señales analógicas de la voz en una cadena de información digital. El propósito de cada sistema es el de lograr un punteo alto MOS, a una tasa de bit mínima, logrando un balance entre calidad de voz y una tasa atractiva de compresión. Para mayor descripción de los sistemas CODEC consultar el Anexo VI. Los Sistemas CODEC más utilizados son:

- G.711 (PCM)
- G.726 (ADPCM)
- G.728
- G.729A
- G.729B
- G.723
- G.723.1A

En general los sistemas PCM G.711 y los CODEC de forma de onda son los que nos dan mejores resultados en cuanto a la calidad de audio lograda de extremo a extremo. Sin embargo, se puede obtener un mejor balance entre calidad y economía utilizando sistemas CODEC híbridos como G.728, G.723.1 y G.729. En estos sistemas las señales originales se reconstruyen en los extremos del enlace de comunicación permitiendo así la transmisión de señales relativamente incompletas que requieren menor ancho de banda y calidad aceptable al ser reconstruidas en los extremos con muestras ya conocidas. Estos CODEC forman parte de los sistemas AbS, de análisis por sintetización de formas de onda.

Para poder escoger un CODEC adecuado a los requerimientos de un sistema particular hay que lograr un balance entre calidad (un coeficiente MOS alto, o por lo menos aceptable y no mucho retardo), y economía (baja tasa de bit y baja inversión inicial).

Otro aspecto a considerar es que si se va a implementar un sistema de VoIP transportando voz sobre una red que en determinado momento descartara paquetes, es necesario que nuestro CODEC pueda implementar un mecanismo para compensar por tramas perdidas. En el caso de G.711 no existe tal mecanismo, por lo cual tendríamos que optar por un sistema, por ejemplo G.729 u otro que posea un subsistema de interpolación para compensar por tramas pérdidas.

Otro factor importante es el retardo producido por el CODEC en si, y es que en una solución VoIP es un tema importante, ya que al paquetizar la voz e introducirla en una red con enrutadores y otros dispositivos el retardo se vuelve aun mayor.

Un CODEC de forma de onda es mucho más sencillo (y más barato) que uno híbrido, y es que los CODEC híbridos funcionan bien pero lo hacen con sistemas mucho más complejos que requieren procesadores que funcionen en el orden de millones de instrucciones por segundo (MIPS), por ejemplo G.729 requieren de un procesador que desarrolle los 40 MIPS, en cambio G.726 requiere de 10 MIPS. Aunque con el tiempo el tema de los MIPS será cada vez más irrelevante ya que los procesadores actuales son cada vez más rápidos y baratos.

Para poder seleccionar el CODEC adecuado para una aplicación es necesario responder las siguientes incógnitas:

- ¿Qué ancho de banda necesita el CODEC?
- ¿Está estandarizado por entidades internacionales?
- ¿Existe alguna interoperabilidad entre proveedores para este CODEC?
- ¿Cuál es el grado de calidad de voz generada por el CODEC?
- ¿Cuál es el retardo generado de extremo a extremo por el CODEC?
- ¿Es este algoritmo adecuado para su operación en redes de paquetes?
- ¿Puede este algoritmo aceptar señales de fax, módem ó señales similares?

### 1.5.2. Detección de actividad de voz

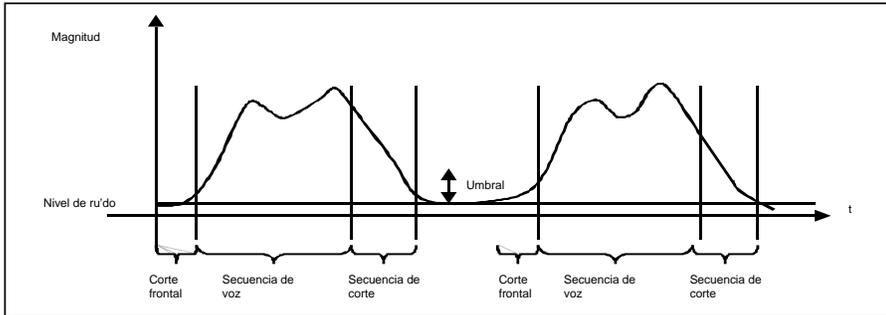
En sistemas VoIP, los canales de audio se pueden aprovechar mejor implementando la opción VAD. En estudios previos se ha demostrado que el canal de audio en una conversación telefónica normal, el canal de audio se utiliza efectivamente solo el 50% del tiempo, aproximadamente, el resto se transmite solamente el silencio entre las partes. El sistema VAD se basa en la detección de la amplitud de la señal de audio entrante, cuando la misma baja del nivel pre-configurado, el sistema deja de transmitir la información hasta que se detecta nuevamente la señal de audio por encima del umbral de ruido.

El sistema toma las muestras de audio en dos secuencias:

- Secuencia normal de voz (*Speech Magintude*)
- Secuencia de corte (*Hang Over*)

El tiempo de secuencia normal dura lo que dure el impulso de audio, la secuencia de corte tiene un valor fijo de 200ms típicamente. A continuación se muestra una forma de onda con dos impulsos de audio simulando una conversación:

**Figura 6: Funcionamiento de sistemas VAD**



**Fuente: Johnathan Davidson, James Peters. *Voice over IP Fundamentals*, Pag. 178**

Existen varias limitantes que considerar al aplicar un sistema VAD en la red, existen algunos problemas inherentes a VAD en cuanto al momento que el audio inicia o finaliza en una secuencia, es por eso que existe un tiempo de corte frontal en el cual el sistema detecta el inicio de una nueva secuencia de voz, este tiempo es corto y en teoría, no debe ser percibido como pérdida de datos por el receptor del audio. El sistema VAD no puede discriminar entre las señales de voz del emisor y el ruido de fondo de un ambiente, y es por eso que se define un nivel de magnitud umbral. Este nivel es tomado como referencia por el sistema para determinar si una señal de audio es ruido de ambiente o si es audio proveniente del emisor principal.

Los períodos de actividad de voz humana varían por lo general de 0.4 a 1.2 segundos y los períodos de silencio de 0.6 a 1.8, datos que han sido utilizados durante mucho tiempo por sistemas de multiplexación para sobre utilizar las troncales en la PSTN. El sistemas VAD funciona como un modelo de vida y muerte de actividad. Dicho modelo considera dos variables:  $\lambda$  y  $\alpha$ , que representan respectivamente la frecuencia de transiciones entre estados de inactividad a actividad y viceversa.

Por lo que el período de actividad de audio se define como  $1/\alpha$  y el período de inactividad se define como  $1/\lambda$ , entonces la probabilidad de que el canal esté transmitiendo audio, y por consiguiente mantenga una tasa de bit constante es la siguiente:

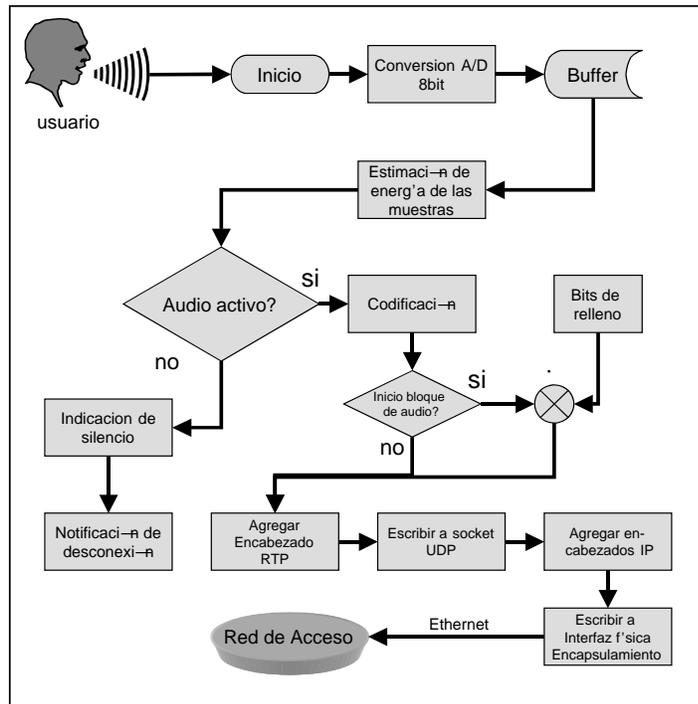
$$P_{va} = \frac{\lambda}{(\alpha + \lambda)}$$

Que en mediciones hechas en conversaciones reales en todo el mundo ha probado ser de alrededor de 0.4 (40%).

### **1.5.3. Proceso de paquetización de audio**

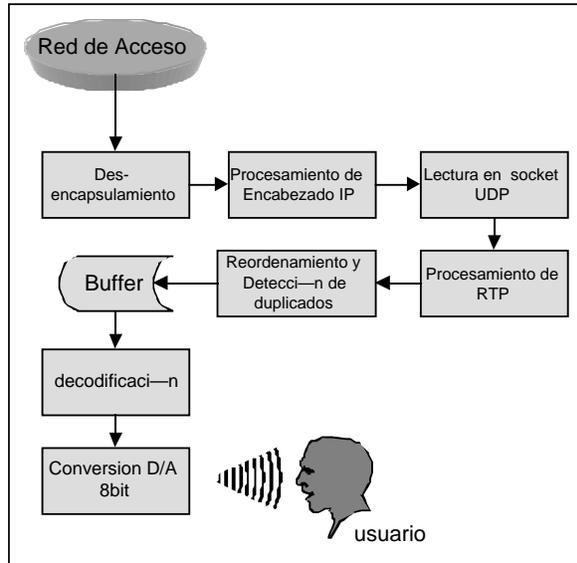
Como se vió en las secciones anteriores, las señales analógicas de audio pasan por un proceso de digitalización, compresión y procesamiento para estar aptas para su transmisión en un medio digital. Los CODEC se encargan de generar códigos que resulten en una eficiente secuencia de bits que optimicen el ancho de banda necesario para su transmisión; los sistemas VAD se encargan de detectar la actividad de voz del emisor para optimizar aún más el ancho de banda a utilizar en la capa de transmisión. A continuación se ilustra el proceso que se lleva a cabo al tomar los códigos digitales y adaptarlos para su transmisión en el ambiente de redes conmutadas por paquetes:

Figura 7: Proceso de Paquetización de audio



El proceso de recuperación de la señal de audio es más lineal, y se expone a continuación:

**Figura 8: Proceso de recuperación de audio**



### 1.6. Parámetros para la medición de la calidad de voz

Es muy difícil determinar un valor cuantitativo para una muestra de voz, ya que depende mucho de la percepción del observador, y se tiene que recurrir a métodos estadísticos para lograr un conjunto de datos medibles.

Existe, sin embargo, un método estándar para cuantizar la calidad de voz, y esta definido por la UIT-T como la recomendación P.800: MOS o sistema de puntuación de opinión media.

El sistema MOS consiste en cinco niveles de calidad para cuantizar las muestras:

- 5 = Excelente
- 4 = Bueno
- 3 = Regular
- 2 = Pobre
- 1 = Malo

El sistema MOS se basa en se toma una muestra de voz y se hace escuchar por un numero igual o mayor a 30 personas las cuales son las responsables de emitir la puntuación.

El sistema MOS pareciera no tener una base muy objetiva con este sistema de escala, sin embargo, UIT-T P.800 hace varias recomendaciones en torno a la selección de los participantes, el ambiente de la prueba, las explicaciones a los oyentes, y el análisis posterior de resultados. Por supuesto que métodos como P.800 (MOS), son claramente subjetivos y tienen un costo alto de implementación, por lo que existen métodos no intrusivos como P.861, o PSQM que fuera más tarde reemplazado por P.862 PAMS/PESQ, que fueron adoptados por la UIT-T en el 2001 y son sistemas que utilizan una señal de audio de referencia, la insertan en la red para luego ser extraída en otro punto de la red y cualitativamente comparada, y de esta forma evaluar la simulación de la voz en la red en un sistema de niveles de calidad similar a MOS.

Implementar estos sistemas, representa un gasto significativo dado a que hay que simular tráfico en la red de producción, e interconectar dispositivos con software especializado. Efectuar medidas de percepción, puede justificarse en casos donde la calidad de voz sea un factor determinante, más no lo es en un entorno de telefonía residencial como el que se plantea en este trabajo.

Como alternativa, se pueden realizar mediciones no-intrusivas, las cuales consisten en implementar técnicas pasivas en el tráfico generado por los mismos usuarios. Estas técnicas son mucho más baratas de implementar dado a que solo utilizan *software*, y no consumen ancho de banda de la red al realizar pruebas. Genera reportes sobre parámetros de calidad y estadísticas de la red a nivel de la red IP, como también a nivel de usuarios, midiendo el nivel de ruido, eco, etc., por lo que puede ser usado en paralelo con los sistemas de gestión de red que se implementen.

### **1.7. Servicios ofrecidos por el sistema de voz tradicional**

Para implementar un eficiente y funcional sistema de voz sobre IP, el mismo tendrá que interactuar con los sistemas de telefonía convencional, incluyendo todos los servicios básicos y la mayoría de suplementarios. Aunque para un sistema de telefonía rural no sea críticamente necesario implementarse todas las funciones, el sistema debe poseer la escalabilidad para poder adaptarse a las necesidades futuras.

### **1.7.1. Servicios PSTN: red pública conmutada**

A parte de la interconexión de abonados y servicios básicos, los servicios provistos en la red de telefonía pública conmutada PSTN, se clasifican como servicios específicos o personalizados y servicios CLASS que requieren de las prestaciones de SS7. Los servicios más implementados en las PSTN a nivel mundial son:

- *Call Waiting* o Llamada en espera
- *Call Forwarding* o Reenvío de Llamada
- *Three-way Call* o Conferencia tripartita

### **1.8. Evolución a un sistema de telefonía conmutada por paquetes**

La infraestructura de las empresas proveedoras de servicios de telefonía, están constituidas por vastos sistemas monolíticos que tienden a estar centralizados o semi-centralizados. Los sistemas actuales utilizan técnicas que tienen ya varios años de estar en servicio por lo que están más que probadas y utilizan canales de voz G.711 a 64 kbit/s que funcionan muy bien para el tráfico de voz.

Las razones por las cuales es conveniente implementar un sistema de telefonía conmutada por paquetes, en específico por paquetes IP, son las siguientes:

- Integración con la red de datos
- Accesibilidad y clasificación de servicios
- Mejor manejo del ancho de banda

### **1.9. Comparación de un sistema conmutado por paquetes y uno convencional**

La red de voz convencional que fue descrita a grandes rasgos en las secciones anteriores, esta basada en tecnología TDM. Dicha tecnología fue diseñada con los servicios de voz en mente.

Sin embargo, el tráfico de datos va creciendo día a día, y los proveedores de servicios han tenido que pensar en formas para optimizar la inversión existente para poder suplir la creciente demanda a nivel mundial.

Desde un punto de vista cualitativo, lo primordial a considerar al adoptar una tecnología u otra es la satisfacción del usuario final. A continuación una tabla comparativa de los parámetros a considerar:

**Tabla I. Comparación de sistemas conmutados**

<b>Parámetro</b>	<b>Conmut. Circuitos</b>	<b>Conmut. Paquetes</b>
Ancho de banda dedicado	Si	No
Calidad de Servicio:		
Calidad de voz	Calidad Optima	Variable
Retardo	Mínimo	Variable
Utilización	Pobre	Alta
Economía de la utilización	Baja	Alta
Manejo de llamadas	Excelente	Regular

**Fuente:** Gilbert Held. *Voice and data Internetworking*, P. 23

Los parámetros considerados en la tabla anterior ayudan a poner en perspectiva lo requerido por la tecnología a adoptar para implementar el proyecto.

## **1.10. Servicios ofrecidos por otras tecnologías**

### **1.10.1. Voz sobre *Frame Relay***

*Frame Relay* ha estado en el mercado por algún tiempo, y da una solución alternativa a las líneas dedicadas TDM utilizadas para interconexión de líneas de datos para el ambiente corporativo. Fue diseñado con el ahorro de ancho de banda en mente, al manejar contenedores de datos de tamaño variable, y por consiguiente con magnitudes de retardo variable, las cuales no son un problema para la comunicación de datos, pero representan un desafío para aplicaciones de voz ó vídeo. En general, la implementación de servicios de voz sobre *Frame Relay* se detalla en el documento FRF.11 del “*Frame Relay Forum*”.

Al igual que una red IP, *Frame Relay* es utilizado para integrara redes de voz y datos utilizando conmutadores como parte de la red de transmisión y equipos FRAD para entregar los servicios de voz y datos al cliente final, pero debido a la baja escalabilidad de los servicios, y al poco soporte de la industria de telecomunicaciones, no es posible implementar soluciones integradas a gran escala.

Sin embargo, la solución FR es aún factible para realizar el transporte de canales de datos en sistemas satelitales donde se requiere de un encabezado pequeño, y se requieren más canales que los que se puedan manejar con sistemas TDM/TDMA por lo que sigue siendo un protocolo de transporte factible en enlaces de baja capacidad.

#### **1.10.2. Voz sobre ATM: Servicio de emulación de circuitos, CES**

El servicio CES, o servicio de emulación de circuitos es una técnica para el transporte de circuitos sobre una red de paquetes (por ej. IP), o celdas (por ej. ATM). Los servicios transportados de esta manera se denominan servicios, o de tasa de *bit* constante, el mecanismo para transportarlos se define en la capa de adaptación de ATM, por la cual es posible transportar interfaces PDH (E1, T1), o SDH-SONET (STM-1, OC-3) utilizando interfaces UNI (Q.2931 de la UIT-T, interfaz de usuario a la red), o NNI (Q.2764 de la UIT-T, interfaz de interconexión entre redes).

Al igual que ISDN, ATM utiliza canales de señalización fuera de banda, haciendo la transmisión de la señalización más resistente a cambios de topología.

Las soluciones ATM no han gozado de la popularidad ofrecida por los servicios IP e incluso de equipo TDM tradicional, debido a su alto costo y problemas de escalabilidad de los equipos.

### 1.11. Definición de un sistema de telefonía rural

Se entiende por telefonía rural a todo el sistema que lleva el servicio de telefonía básica a todo lugar geográfico no cubierto por el área metropolitana. Dicho sistema se constituye por la infraestructura de planta externa, conexiones, equipos, mecanismos y procedimientos de mantenimiento requeridos para su operación.

El sistema que trataremos consta de tres divisiones:

- Sistema de conmutación
- Sistema de transmisión
- Sistema de acceso

Estas subdivisiones serán tomadas en cuenta en todo el trabajo y se definen a continuación:

- **Sistema de conmutación:** Lo confirman todas las facilidades del conmutador principal (HTS), y conmutadores subsecuentes dentro de la jerarquía (LTS, CTS) que interconecten al sistema VoIP para telefonía rural al resto de la red pública conmutada PSTN. También se puede tomar como parte de este sistema todo el *Hardware* y *Software* que utiliza el convertidor de conmutación o media *Gateway* necesario para transferir los canales de la red publica hacia la red IP.

- **Sistema de transmisión:** Lo conforman todos los sistemas de transmisión necesarios para llevar el tráfico desde el sistema de conmutación hasta los puntos de acceso en las comunidades rurales. Puede estar integrado a sistemas de transporte como redes SDH y PDH convencionales y utilizar varios medios de transmisión como fibra óptica, radio enlaces y microondas e incluso llegar a su interconexión final vía canales DSL por alambres de cobre u otros medios. Una alternativa al sistema de transporte convencional es el de implementar anillos ópticos IP-MPLS, o bien, interfaces *Ethernet* en el transporte integrando esta funcionalidad a los sistemas SDH existentes.
- **Sistema de acceso:** Es constituido por todo el *Hardware* y *Software* situado en el extremo remoto del sistema. Por lo general, el tráfico transferido por el sistema de transmisión es recolectado en puntos de presencia previamente definidos para optimizar la distribución hacia los usuarios, y de este se distribuye a los usuarios finales o hacia otros puntos.

### 1.12. Arquitectura de la solución VoIP

La función primordial del sistema es la de tomar la información de audio y señalización, convertirla para generar un canal de datos constituido por paquetes discretos conteniendo la información antes mencionada.

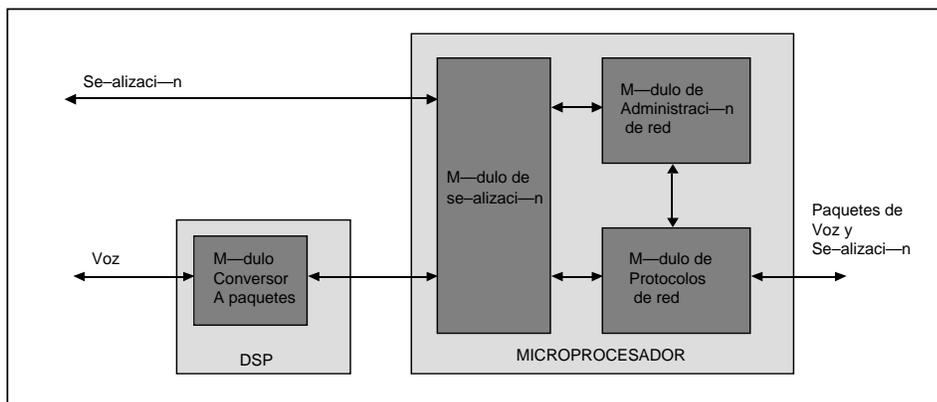
El DSP, convierte la voz en un tren de pulsos adecuado para ser transmitido en una red de paquetes. El bloque del DSP realiza las siguientes funciones:

- **Interfaz PCM:** Se encarga de recibir las muestras digitales PCM y las entrega al DSP para su procesamiento. Posee un mecanismo de re-muestreo de fase para evitar deslizamientos en el muestreo.
- **Generador de tonos:** Genera los pulsos DTMF y de progreso de llamada, para ser detectados por el aparato telefónico terminal (teléfono, PBX o *Switch*).
- **Cancelador de eco:** Realiza la cancelación del eco de acuerdo con G.165.
- **Detección de voz, medición de ruido de fondo:** Monitorea la señal de entrada para detectar actividad en el canal audible. Si no se detecta actividad dentro de un período, el *software* informa de esto al protocolo de transmisión el cual cesa de transferir la información del canal, ahorrando así más ancho de banda. Se mide también el ruido de fondo de la interfaz telefónica e informa al protocolo de transmisión para que transmita el dato hacia el extremo remoto de la conversación cuando no se esté generando audio.
- **Detección de tonos:** Realiza las funciones de detección de tonos DTMF y discrimina entre voz y fax. El *software* del sistema es enterado de esto y activa las funciones pertinentes.
- **CODEC:** Comprime la información del canal de audio. Por lo general se utiliza G.729 para lograr un ratio de compresión de 8:1 (8 kbps por canal).
- **Soporte para fax:** Su función es la de demodular la señal de fax, y transmitir los datos relevantes hacia la red de paquetes.

- **Reproductor de voz:** Almacena la información de los paquetes recibidos (voz) y la envía hacia el CODEC para su reproducción.
- **Protocolo de empaquetamiento de voz:** Se encarga de encapsular la información de voz y datos para su transmisión extremo a extremo.
- **Software de control:** Coordina el envío de información administrativa entre el DSP y la entidad (*host*) por medio de un mecanismo de correo. La información intercambiada es la referente a reporte de estado actual, datos de configuración y carga del enlace.
- **Sistema operativo:** Provee el ambiente de operación para el DSP. Provee las sub-funciones de sincronía, manejo de tareas, manejo de memoria y temporización.

En la siguiente figura se muestra el diagrama de bloques del procesador VoIP.

**Figura 9: Arquitectura del software VoIP**



**Fuente: International Engineering Consortium IEC. Voice and Fax over IP P.8**

Después que la voz es convertida a información en paquetes ingresa al módulo de señalización. La función de este módulo es la de interpretar la comunicación del sistema de telefonía convencional y transformarla en cambios de estado lógico que el módulo de protocolos de red pueda interpretar, y soporta por ejemplo, señalización E&M, FXS-FXO, ISDN-BRI/PRI.

El módulo de señalización posee las siguientes funciones:

- **Software de interfaz telefónica:** Hace un muestreo periódico de las interfaces de señalización del módulo.
- **Unidad de protocolo de señalización:** Contiene las funciones para interactuar con diferentes tipos de señalización.
- **Unidad de control de red:** Colecta la información de señalización telefónica y la adapta para ser transmitida a la red IP y ser interpretada por los protocolos en ambos extremos.
- **Unidad de traducción de direcciones:** Hace el mapeo de direcciones E.164 a una dirección utilizable por la red IP. Esta unidad es la responsable de asignar una dirección IP a cada conexión (o DLCI si fuese *Frame Relay* el método a utilizar).
- **Driver de interfaz para el DSP:** Intercambia información entre el microprocesador anfitrión y los DSP.
- **Cargador del DSP:** Es responsable de administrar los DSP en el momento de inicio o reinicio, actualización de configuración o cambio de modo (de voz a fax, por ejemplo).

El módulo de protocolos de red es el encargado de convertir los protocolos de señalización telefónica a protocolos de señalización de datos . Agrega también los encabezados requeridos para paquetes de voz y de señalización. En el caso de VoIP agrega la funcionalidad H.323 para control y transporte de llamadas , H.225, H.245, RTP, RTCP, SCTP, TCP, IP y UDP.

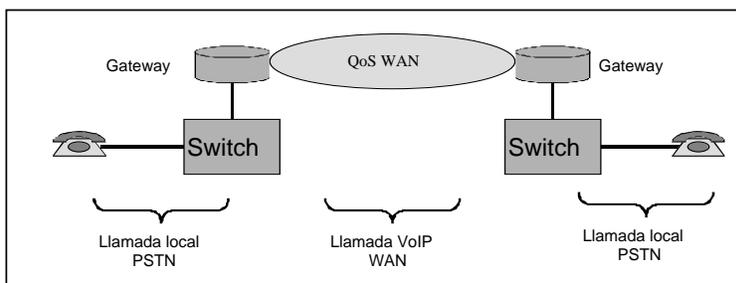
En el caso de VoATM agrega el protocolo de encapsulamiento sobre ATM VtoA de acuerdo con lo establecido por el *ATM-Forum*. En el caso de *Frame Relay* agrega VoFR como protocolo de encapsulamiento soportando conexiones permanentes (PVC) y conmutadas (SVC), Interfaz de administración local (LMI) y los valores del CIR. El módulo de administración de red sirve de interfaz entre el operador y los demás módulos del sistema para proveer funciones de operación y mantenimiento.

Por lo general soporta la información definida por ANSI compatible con SNMP. Soporta un sistema MIB propietario previo al desarrollo de un estándar. La función primordial de todo el microprocesador es la de manejar los paquetes de voz y adaptar sus encabezados al protocolo específico para efectuar la transmisión, como RTP. Traduce también la señalización de telefonía a señalización específica para su transmisión sobre la red IP y su posterior interpretación por dispositivos VoIP.

Existen varias alternativas para elaborar una solución utilizable, las cuales utilizan complejos sistemas que incorporan el uso de técnicas de señalización y control, CODEC para audio y vídeo, y protocolos de transmisión de datos como RTP y RTCP. Todos estos sistemas tienen la misión de mantener funcionando las sesiones de *Multimedia* sobre redes paquetizadas, y es a través de estas sesiones que se mantienen y señalizan las conexiones telefónicas en la red VoIP.

Un proveedor de servicios de voz sobre protocolo de Internet, o ITSP puede valerse de la infraestructura ya establecida para brindar los servicios de telefonía. La forma en que la solución VoIP opera en conjunto con la PSTN, puede describirse en un esquema de discado en dos fases, como se ilustra a continuación:

**Figura 10: Discado en dos fases**



**Fuente: Johnathan Davidson, James Peters. *Voice over IP Fundamentals*, P.138**

El sistema de discado en dos fases, basa su funcionamiento en la conexión de dos terminales hacia una red intermedia. Al discar de cualquiera de los lados se alcanza un número intermedio de validación de ingreso a la red, el cual llama hacia el puerto correspondiente dentro de la red intermedia para poder completar la llamada.

Para la implementación del sistema de voz sobre IP, se puede adoptar cualquiera de los esquemas de señalización IP siguientes:

- H.323
- SIP
- *Gateway Control Protocols*

### 1.13. Criterios del diseño

Si bien es cierto, que el diseño esta enfocado en satisfacer la demanda de la población rural teniendo en cuenta una infraestructura escasa, debemos acatar al sentido común a la hora de diseñar la red a implementar, el diseño debe ser lo suficientemente flexible para tolerar cierto porcentaje de crecimiento en un mediano plazo sin necesidad de tener que rediseñar la solución completa. El enfoque del diseño se puede orientar a los siguientes aspectos:

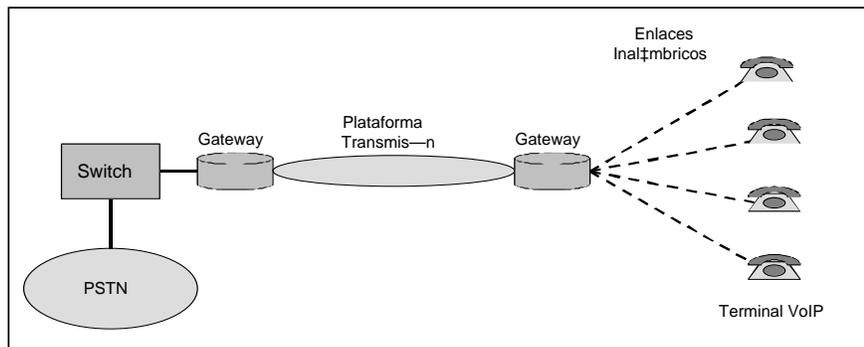
- Entendimiento de la demanda de tráfico, conociendo los puntos donde se origina y termina el tráfico en la red teniendo en cuenta las estadísticas típicas de tráfico por usuario.
- Adaptación a una tecnología que satisfaga a las necesidades futuras del proyecto, por ejemplo el adoptar técnicas avanzadas y eficientes de codificación de voz, utilizar la supresión de silencios, redundancia de red, etc.
- Selección del proveedor y la comparación de la respuesta de cada uno.
- Topología de red, conectividad y requerimientos de ancho de banda.
- Conectividad física.

Al querer diseñar una red de voz que pueda competir contra las soluciones tradicionales debemos tener en cuenta que el servicio tendrá un factor de disponibilidad de por lo menos 99.999% lo cual corresponde a un tiempo fuera menor o igual a 5 minutos por año, claro que en el sistema rural existirán limitaciones debido a la falta de infraestructura para soportar dicho factor de disponibilidad.

El sistema a diseñar deberá contar con un factor de disponibilidad del 99.999%, en condiciones normales y un 95.0% mínimo para lograr una conectividad aceptable a la red pública conmutada. Se valdrá de sistemas de transmisión existentes para el transporte hacia los puntos de presencia y luego adoptará, de preferencia, un medio inalámbrico para llegar a las comunidades remotas.

El sistema de ilustra en la siguiente figura:

**Figura11: Topología general de VoIP**



## **1.14. Consideraciones técnicas de calidad**

Para el caso de la red VoIP, la calidad de servicio se ve reflejada en las limitaciones de la red en sí y de los equipos terminales. Los principales parámetros de calidad se listan a continuación.

### **1.14.1. Retardo y fluctuación**

El retardo ocasiona dos efectos no deseados en la comunicación hablada:

- Generación de eco
- Sobreposición de la conversación

El eco es un fenómeno inherente a todo sistema de comunicación de voz, y es causado por las reflexiones de señal del un extremo reflejadas en receptor y regresadas al oído del emisor. El eco se vuelve significativo cuando el retardo de propagación total excede los 50 milisegundos. Los sistemas de voz sobre IP son particularmente afectados por el eco en casi toda aplicación práctica, ya que sus sistemas internos provocan un retardo mayor al mínimo requerido para que el efecto del eco se vuelva un problema significativo.

Los diferentes tipos de retardo que en conjunto suman efectos causantes de deterioro de la calidad del servicio son los siguientes:

#### 1.14.1.1. Retardo algorítmico o de acumulación

Es el retardo ocasionado por el CODEC utilizado para tomar muestras de la señal entrante de voz, y será el primer criterio contemplado para la decisión de cómo implementaremos el sistema. La magnitud de este retardo es variable de acuerdo con el CODEC utilizado y variará en el rango de 125  $\mu$ s hasta varios milisegundos.

En la siguiente tabla se detallan las magnitudes de este retardo para varios tipos de CODEC:

**Tabla II: Comparación de diversos tipos de CODEC**

CODEC	Tasa de bit	Retardo algorítmico	MOS
G.711	64	0.125	4.10
G.726	16	0.125	3.85
G.728	16	2.5	3.61
G.729A	8	10	3.70
G.723	5.3	30	3.65

En cuanto a la selección del CODEC, se tomarán en cuenta estas tres variables para tomar la decisión sobre la mejor tecnología.

Eliminado: ¶

#### 1.14.1.2. Retardo de procesamiento

Este tipo de retardo es el causado por el proceso en sí de tomar las muestras generadas por el CODEC y adaptarlas para transmitirse en un formato paquetizado. Es una función directa del algoritmo utilizado para y del desempeño del procesador utilizado para realizar la conversión.

#### 1.14.1.3. Retardo de red

Es el retardo ocasionado por el medio de transmisión y los protocolos utilizados para la transmisión y por los mecanismos del lado receptor para remover *Jitter* de los paquetes de datos (*Buffer*). El retardo de red es una función directamente proporcional a la capacidad del enlace de transmisión y del procesamiento que ocurre en los diversos puntos de la red. Este retardo es el que más contribuye en el retardo total del servicio ya que se encuentra en el rango de 70 a 100 milisegundos en algunas redes IP y *Frame Relay*. La UIT-T G.114 recomienda un máximo de 150ms de retardo unidireccional de extremo a extremo en sistemas terrestres.

#### **1.14.1.4. Retardo de Almacenamiento en cola (*Buffer Delay*)**

Es el retardo causado en ambos extremos del canal, tanto por el emisor como por el receptor. El emisor retarda la transmisión de los datos para no perder ninguno, y el receptor tiene que compensar por paquetes que llegan a diferentes instantes, efecto causado por las condiciones de congestión en los enlaces de la red.

#### **1.14.1.5. Fluctuación del retardo ó *Jitter***

El fenómeno de Jitter en redes de paquetes de voz se vuelve un problema especial, ya que todos los paquetes que viajan de un punto A hacia un punto B no toman siempre la misma ruta y pueden llegar a su destino en tiempos distintos, el mecanismo para corregir esto produce retardo adicional (de red), es necesario remover la mayor parte del *Jitter* sin agregar demasiado retardo. Para lograr controlar el Jitter sin afectar el desempeño, es necesario realizar estadísticas de los paquetes que llegan a su destino a tiempo y los que llegan tarde, creando así una razón de paquetes procesados a tiempo y utilizar esta información para calibrar los mecanismos amortiguadores (*Buffer*) de los receptores.

#### **1.14.1.6. Compensación por condiciones de eco**

El eco siempre está presente en todo sistema de comunicación telefónico. En sistemas tradicionales se genera eco en la conversión de circuitos de 4 hilos a circuitos de 2 hilos (en el lazo local) pero es aceptable ya que el retardo no excede los 50 milisegundos. En sistemas de voz sobre IP el eco tiene un mayor impacto ya que, por lo general, siempre excede los 50 ms de retardo. La UIT-T en el estándar G.165, y por estándares de IEC, el cancelador de eco se instala típicamente en sistemas separados del conmutador o como parte integrada de éste. Muchos sistemas de VoIP comerciales incorporan algún método para compensar por eco.

#### **1.14.2. Pérdida de paquetes**

La pérdida de paquetes es algo muy común en el mundo de los datos. Por su naturaleza, IP no garantiza que todos los paquetes enviados lleguen a su destino, este es el trabajo de un protocolo de capa superior que controle y tome acciones correctivas en caso sea necesario. En condiciones de demanda total y enlaces congestionados, IP descartará paquetes sin importar si son de datos o de voz. Es por esta razón que se debe adoptar un método para compensar por pérdida de paquetes, a continuación se describen los métodos más comunes:

- **Interpolación de paquetes:** Lo que se hace es reproducir en el receptor, el paquete anterior en caso que el paquete actual no llegue a tiempo, o no llegue del todo. Funciona bien cuando la incidencia de pérdida de paquetes es baja. No funciona si se pierden muchos paquetes consecutivos.
- **Transmisión redundante:** el paquete N se retransmite en el N+1 creando redundancia en la información transmitida. Es funcional si el ancho de banda del canal no es un impedimento (canales más rápidos) pero también tiene la desventaja que causa aún mayor retardo.
- **Utilizar CODEC híbrido:** Se utiliza también redundancia en la transmisión de paquetes pero el CODEC utilizado transmite la información en un ancho de banda menor. Es un enfoque conveniente pero algunas técnicas ocasionan mayor retardo.

Estas técnicas aplican para redes donde no existe la ingeniería de tráfico.

Como veremos más adelante, existen formas de proveer ingeniería de tráfico a una red IP, para lo cual las técnicas de interpolación de paquetes y transmisión redundante no son empleadas ya que pueden malgastar el espacio de la red de transmisión. El uso de un CODEC híbrido si es ampliamente utilizado en cualquier topología, use o no la ingeniería de tráfico.

### **1.14.3. Administración de calidad de servicio**

El concepto de calidad de servicio, o QoS se define en la recomendación UIT-T E.800 de la siguiente forma: “El efecto colectivo del desempeño del servicio, el cual determina el nivel de satisfacción del usuario”.

Existen algunas alternativas para el manejo de parámetros de calidad de servicio e involucran la implementación de protocolos especializados en la red como RSVP y *Diffserv*, los cuales serán expuestos en el siguiente capítulo, cuando se trate el tema de la red de transmisión.

Algo que hay que tomar muy en cuenta a la hora de diseñar la solución VoIP es que todos los elementos de red, como *Switches* y *Routers*, y la manera en que ejecutan la conmutación en capa3 (L3), pueden presentar obstáculos para poder cumplir con los requerimientos de calidad de servicio deseados en un sistema de voz competitivo.

Esto puede explicarse de la siguiente forma: Si todo el tráfico IP que

converge en un elemento de red con capacidad de enrutamiento recibe el mismo trato, es decir, recibe el mismo nivel de prioridad, utilizando los mecanismos convencionales de exploración de dirección de destino, se vuelve prácticamente imposible predecir el comportamiento de cualquier flujo (*Stream*) de datos, en términos de latencia por paquete y variación de retardo (*Jitter*), y también es difícil predecir la cantidad de paquetes perdidos en caso de congestión.

Por lo tanto, los elementos de red que utilizan conmutación y reenvío a nivel de capa 3, como enrutadores, no son, por sí solos, adecuados para una aplicación sensible a la adecuada temporización como lo es en nuestro caso, una red de servicios de voz sobre IP.

#### **1.15. Señalización en redes VoIP**

Como es común en sistemas convencionales, la señalización viaja en canales separados a los servicios de voz, de hecho, puede tomar diferentes medios de comunicación en la red de transmisión y acceso. Al utilizar el protocolo de Internet, hay ciertas consideraciones a tomar cuando se trata de transportar información de señalización, que hasta cierto punto, es más importante que los canales de audio a los cuales controla. Un sistema de telefonía se apoya en su señalización para iniciar, mantener y terminar conexiones entre usuarios y centrales, y la señalización juega un papel vital en mantener un flujo constante de suscriptores utilizando la red cada minuto, por lo que la señalización requiere de un mecanismo para confirmar el envío de paquetes a su destino, lo cual se realiza gracias a la implementación de un protocolo de transporte. En el caso de datos se utiliza el protocolo de control de transmisión o TCP (RFC 793).

Las sesiones TCP/IP conforman la mayoría del tráfico que viaja en Internet, pero no son adecuadas para el transporte de voz, pero sí lo son para mantener conexiones seguras para la señalización.

TCP incluye mecanismos para confirmación y reconfirmación de la recepción de los datos lo cual lo hace introducir retardo entre en envío de tramas, como hemos visto la comunicación de voz requiere de bajos niveles de retardo para operar adecuadamente, y además no es estrictamente necesario que exista un mecanismo de confirmación y reconfirmación de recepción de datos si tomamos en cuenta que la pérdida de un pequeño número de paquetes ocasionales no degradará la conversación si tenemos CODEC que posean mecanismos para manejar la pérdida de paquetes.

En el próximo capítulo, se expondrán las características de los protocolos de transporte que pueden ser utilizados para el transporte de señalización, discutiendo las características de los protocolos de transmisión y la implementación de un nuevo protocolo SCTP.

Para el transporte de voz se utiliza frecuentemente UDP, que es un protocolo de transmisión similar a TCP pero sin todas las funciones de confirmación y reconfirmación de recepción de datos, por tanto es menos confiable pero más rápido. La longitud de los paquetes utilizados para llevar voz, también es relativamente pequeña (de 10 a 40 milisegundos), por lo cual la pérdida de unos cuantos paquetes en una conversación no ocasionaría una pérdida total de la conexión. El porcentaje tolerable de pérdida de paquetes para una aplicación de VoIP es de alrededor de 5%, pero en redes IP de datos es común observar un porcentaje mayor de hasta el 25%.

Si se utilizara TCP para transportar voz, en el caso de pérdida de

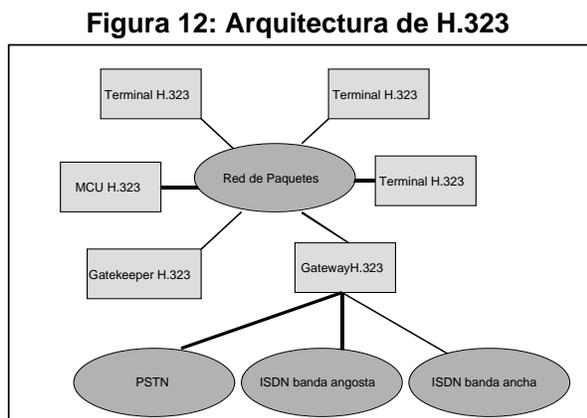
paquetes, el protocolo solicitaría la retransmisión de los paquetes perdidos, los confirmaría y reconfirmaría lo cual induciría un retardo inaceptable del orden de varios cientos de milisegundos dependiendo, por supuesto de la disponibilidad de la red.

### 1.15.1. H.323

Es una recomendación de la UIT-T que incorpora diferentes recomendaciones para la transmisión de contenido de multimedia a través de redes conmutadas por paquetes. Los componentes de una red H.323 son:

- Gateways
- Gatekeepers
- Terminales
- MCUs (*Multipoint Controller Units*)

La arquitectura de H.323 se ilustra a continuación:



Fuente: Daniel Collins. *Carrier Grade Voice over IP*, P.107

Existen dos tipos principales de sistemas: las terminales H.323 y puertas

de enlace o *Gateways* todos interconectados a través de la red de paquetes.

La función de las puertas de enlace es el de traducir los servicios H.323 hacia otra red que soporta otros protocolos, como por ejemplo ISDN, o la red pública conmutada PSTN. Existe un tercer elemento en la arquitectura de H.323, el *Gatekeeper*, el cual tiene la misión de autorizar el acceso a los puntos terminales, aprobando o desaprobandando la realización de llamadas entre los puntos involucrados. El *Gatekeeper* puede ofrecer también la clasificación de servicios administrando el ancho de banda para cada conexión. En general H.323, la señalización se administra en zonas, las cuales dependen de un agente ó *Gatekeeper*, el cual está constituido por una función de la plataforma del conmutador VoIP. A continuación se muestra el diagrama de funcionamiento de protocolos de señalización para H.323:

**Figura 13: Resumen de protocolos H.323**

Aplicacion Audio / Video	Aplicacion de Terminal			
CODEC	RTCP	H.225.0 RAS	H.225.0 Call	H.245 Control
RTP				
UDP			TCP	
Capa de Red				
Capa de Enlace				
Capa Física				

**Fuente: Daniel Collins. *Carrier Grade Voice over IP*, P. 111**

Como se puede ver, el protocolo H.323 está compuesto por múltiples sub-

protocolos que soportan medios de transmisión confiables sobre TCP y no confiables sobre UDP.

El protocolo H.323 puede dividirse en tres áreas de control:

- Señalización RAS (*Registration, Admissions, and Status*), provee control por llamada en redes basadas en *Gatekeepers*
- Señalización de control de llamada H.225, se utiliza para conectar, mantener y desconectar las llamadas entre puntos terminales.
- Transporte y control de medios, el cual provee un canal H.245 (TCP), para la transmisión de mensajes de control aunque el transporte de los canales en sí sea transmitido utilizando UDP.

H.323 implementa la señalización RAS la cual provee de control de llamadas entre dos redes donde existe una zona y los *Gatekeepers* están presentes.

### **1.15.2. SIP**

El protocolo de inicio de sesión o SIP, está definido por las recomendaciones RFC 2543 y más recientemente por RFC 3261. En esencia, SIP combina las características de la red Inteligente IN de la PSTN y servicios móviles existentes con características de Internet y el correo electrónico.

SIP es un protocolo de iniciación, modificación y terminación de sesiones

interactivas en Internet. SIP no es un protocolo para controlar dispositivos, ni un protocolo de transporte, solamente es capaz de transportar pequeños mensajes adjuntos pero no puede llevar flujos de datos ni grandes archivos de una localidad a otra. SIP tampoco es un protocolo de reserva de recursos en una red IP, dado a que las rutas adoptadas por los mensajes de señalización SIP no reflejan las tomadas por los flujos (*Streams*) de medios que llevan el audio o vídeo de los usuarios, por lo que no puede considerarse como un protocolo de administración ni manejo de sesiones, sino más bien, un catalizador de conexiones.

Es por esto que SIP es utilizado en conjunto con los protocolos de la IETF:

- SDP (*Session Description Protocol*),
- RTSP (*Real Time Streaming Protocol*) y
- SAP (*Session Announcement Protocol*).

En años recientes ha sido considerado como una simple pero poderosa alternativa a la complejidad de H.323. SIP esta diseñado para que el medio de transporte sea cualquiera y el protocolo de red común entre plataformas sea RTP.

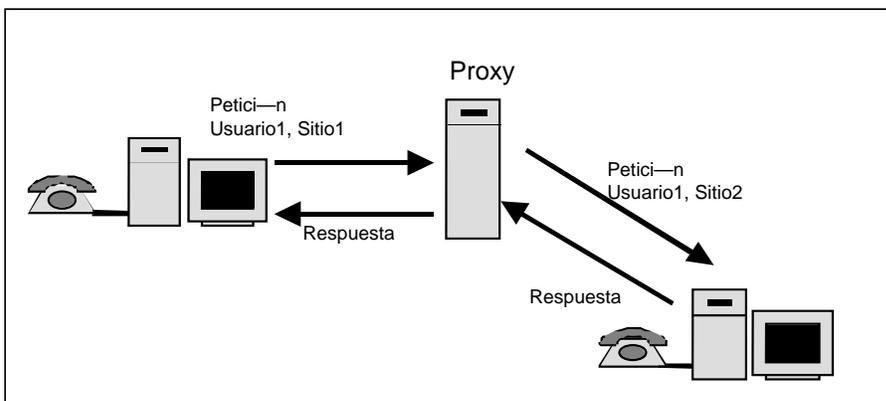
El sistema SIP contempla dos entidades de red: servidores y clientes. Los clientes son entidades de *software* que hacen peticiones las cuales son respondidas por los servidores, dichas entidades pueden residir en una computadora personal como un programa, o una terminal telefónica que soporte sesiones SIP. En general los servidores SIP son computadoras en red que realizan tareas de acuerdo con las peticiones de los clientes ó puntos de terminación, pero también pueden realizar tareas de manera autónoma o combinada con otros servidores.

Los servidores pueden ser de 4 clases:

- *Proxy Server*
- *Redirect Server*
- *User-Agent Server*
- *Registrar Server*

El servidor *Proxy* es el encargado de recibir todas las peticiones de los clientes y se encarga de completar el servicio, o bien, reenviar la petición hacia otro servidor de la misma manera que hace un servidor *Proxy* para los servicios de Internet. Para servidores de terceros, la petición parece provenir del servidor *Proxy* y no de un tercero. A continuación la aplicación del servidor *Proxy* dentro de la red SIP:

**Figura 14: Funcionamiento de sistemas SIP Proxy**



Fuente: Daniel Collins. *Carrier Grade Voice over IP, P.165*

El servidor de redireccionamiento o *Redirect Server*, funciona como elemento de información dentro de la red SIP. Informa a los agentes iniciadores de sesión sobre la ubicación actual de un usuario específico, entonces, el agente o cliente debe iniciar la sesión hacia donde se le informó por el servidor.

En general, las funciones que llevan a cabo los servidores SIP se resume

a continuación:

- Registrar de Teléfonos IP y otros dispositivos SIP.
- Registrar usuarios finales y el acceso a los servicios configurados.
- Registrar las preferencias de usuario.
- Realizar las funciones de autenticación, autorización y contabilidad para todos los usuarios finales.
- Descifrar la dirección de los puntos terminales.
- Enrutar las peticiones de llamadas al servidor apropiado.
- Enrutar a dispositivos de acuerdo a preferencias de los usuarios.
- Soporte a la movilidad de los usuarios en la red y dispositivos.
- Registrar, filtrar, y publicar la información de presencia de usuarios.
- Informar a los usuarios sobre el estado de la llamada, éxito en la realización de la llamada, falla al realizar la llamada.
- Transferir mensajes de solicitud de calidad de servicio (QoS), hacia otros elementos de la red.

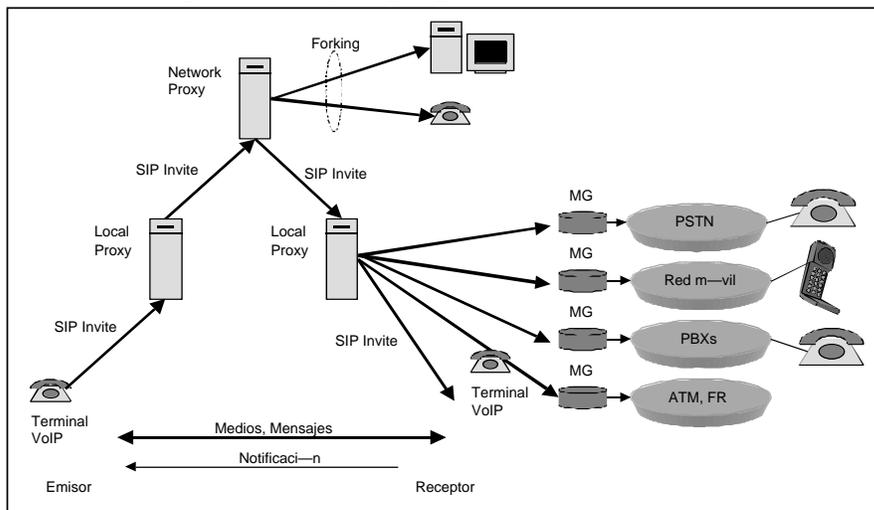
Todos los puntos de terminación SIP son catalogados como “anfitriones” o *hosts* de Internet como se define en RFC 1122 y RFC 1123, por lo que, los teléfonos o computadoras que cumplen dichas funciones, difieren de teléfonos convencionales, máquinas de fax, PBX, teléfonos celulares, en los siguientes aspectos: 1) Pueden compartir los recursos de cualquier otro *host* en la red; 2) Pueden ejecutar una o todas las aplicaciones que el usuario desee, y puede acceder a las prestaciones del punto de terminación a través de cualquier punto de la red.

A nivel de desarrollo de aplicaciones SIP, se puede apreciar una innegable

similitud con http, lo cual puede familiarizar a los desarrolladores de aplicaciones.

A continuación una figura que representa los elementos de red y su funcionalidad dentro de la red IP-SIP:

**Figura 15: Topología general de red VoIP-SIP**



**Fuente:** Henry Sinnereich, Alan B. Johnston. *Internet Communications using SIP*, P. 52

En resumen, SIP provee una forma simplificada de proveer servicios de voz o vídeo en Internet prestando además, servicios agregados similares a los ya ofrecidos por la IN de la PSTN. Sin embargo, SIP no es un reemplazo del sistema convencional de telefonía.

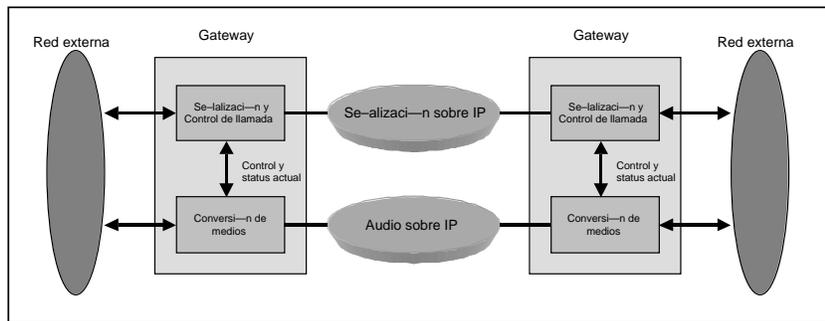
SIP puede interactuar con la PSTN a través de GW, pero no es su función

primaria hacerlo, y es por estas razones que una solución SIP a mediana-gran escala no es apropiada, aunque una solución final puede considerar algunas de las prestaciones que ofrece SIP para el establecimiento de conexiones, de hecho, SIP es utilizado por la plataforma MGCP/MEGACO para proveer los mecanismos de señalización e interoperar con C7/SS7.

### 1.15.3. MGCP/MEGACO

Los métodos expuestos utilizan puertas de salida o *Gateways* para interconexión con la red telefónica conmutada ó PSTN, y hacer creer a la misma que las conexiones que pasen a través de ellas son conexiones PSTN convencionales. En conexiones de la red telefónica convencional PSTN, utilizando SS7, los mensajes de control de señalización utilizan un medio distinto para transmitirse que los canales de voz en sí, lo mismo pasa con la señalización de control en un *Gateway* H.323 o en un sistema SIP donde se utilizan múltiples servidores *Proxy*. A continuación se ilustra la topología de una red VoIP utilizando la separación de señales de control y canales de audio (medios de audio).

**Figura 16: Red VoIP con separación de medios**



**Fuente: Daniel Collins. Carrier Grade Voice over IP, P. 249**

Existen dos protocolos desarrollados por IETF que encajan dentro de la

descripción de Control de puerta de enlace o *Gateway*. Son los siguientes:

- SGCP: *Simple Gateway Control Protocol*.
- MGCP: *Media Gateway Control Protocol*, que fue formado al fusionar SGCP con otro protocolo intermedio IPDC, *Internet Protocol Device Control*.

El protocolo SGCP permite a los elementos de la red controlar las conexiones entre troncales, lazos de abonado entre *Gateways*, cuya función es la de convertir tráfico TDM entrante a voz paquetizada. El esquema SGCP contempla que la función de control de la red no radica en los *Gateways* sino en elementos separados denominados MGCs o *Media Gateway Controllers* que son los agentes de control dentro de la red.

La función primordial de SGCP es la de establecer, mantener y desconectar las llamadas a través de la red IP. SGCP es un protocolo muy simple, como su nombre lo indica, no contempla métodos de sincronización entre agentes de control ni proporciona mecanismos de seguridad para las conexiones entre usuarios. Los mecanismos de seguridad son provistos por IP como se define en RFC 1825, RFC 1826 y RFC 1827.

Los agentes de control tienen la capacidad de implementar otros protocolos a parte de SGCP, de hecho pueden implementar H.323 para establecer llamadas en una arquitectura basada en *Gatekeepers* (GKRCS).

SGCP también adopta SDP o *Session Description Protocol*, definido por

RFC 2327 en lo referente a circuitos de audio y puertas de enlace para telefonía. SGCP utiliza UDP como mecanismo de transporte por lo cual esta sujeto a pérdidas ocasionales de paquetes, para lo cual SGCP retransmite las peticiones que considera como excesivamente retardadas o definitivamente perdidas, y cuenta con mecanismos que llevan control de las transacciones más recientes que se ejecutan por el agente de control. SGCP se basa en una topología de puntos terminales y conexiones entre nodos.

El protocolo MGCP proviene de la unión de SGCP con otro protocolo que surgió de manera intermedia, IPDC y utiliza la misma arquitectura basada en conexiones y puntos terminales que utiliza SGCP. MGCP permite que el control de las llamadas sea realizado por elementos externos y no por los *Gateways*, y contempla varias clases de *Gateways* según es su función dentro de la red:

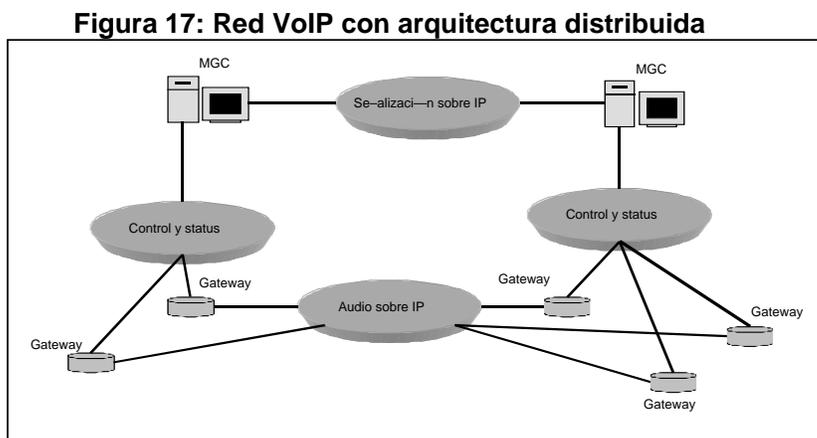
- *Gateways* de troncal, proveen la interfaz entre la red VoIP y la PSTN
- *Gateways* ATM, proveen interfaces de servicio a redes ATM
- *Gateways* de servicio residencial, permiten incluir conexiones analógicas convencionales a la red VoIP
- *Gateways* de acceso corporativo, proveen interfaces de servicio analógicas o digitales para la interconexión de PBX
- Servidores de acceso a la red, provee acceso a la red Internet a través de la PSTN.
- Conmutadores de circuitos o paquetes, ofrecen la interconexión a la red de control a elementos externos.

MGCP, además de proveer una arquitectura de conectividad similar a

SGCP, permite la conexión de servicios a través de distintos medios, como son:

- Redes IP, sobre TCP/IP utilizando RTP y UDP.
- Redes ATM, a través de la capa de adaptación 2, o AAL –2
- Conexiones internas, realizadas dentro del mismo equipo y de vuelta a la PSTN.

MGCP utiliza SDP para los servicios *Gateway* incluyendo las direcciones IP y emplea UDP y RTP de la misma forma que lo hace SGCP. MGCP utiliza SDP para dos tipos de conexiones, audio y datos, a diferencia de SGCP que lo utiliza para audio solamente, y permite el envío de varios mensajes en un solo paquete UDP. Los protocolos derivados de MGCP más implementados son MGCP o *Media Gateway Control Protocol*, también conocido como MEGACO y existe una variación a este MEGACO/H.248 y al implementar uno u otro de estos protocolos se obtiene una arquitectura distribuída como la que se muestra en la siguiente figura:

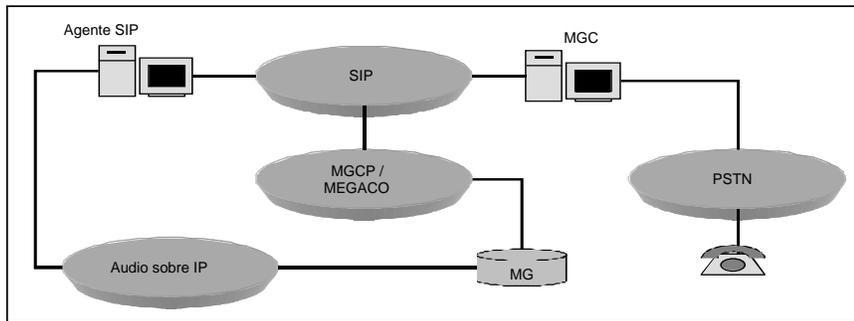


Fuente: Daniel Collins. Carrier Grade Voice over IP, P. 250

Existen entonces dos entidades dentro de una red VoIP de arquitectura de

*softswitch* distribuida: Los *Gateway* o MG que realizan la conversión del medio y sirven de agente de llamada y los MGC o controladores para llevar las señales de control y señalización. La arquitectura de *softswitch* distribuida utiliza SIP para el intercambio de mensajes entre MGCs, las mismas cumpliendo una función de agentes de llamada SIP. Cuando una red de esta clase necesita interoperar con la red telefónica convencional lo hace a través de SIP valiéndose de ISUP. A continuación se muestra la forma de interoperación con la PSTN:

**Figura 18: Red VoIP, Arquitectura MGCP/MEGACO**



Fuente: Daniel Collins. *Carrier Grade Voice over IP*, P. 250

Una implementación de arquitectura distribuida utiliza múltiples elementos en la plataforma que actúan como administradores de conexiones de señalización. El control de el establecimiento de llamadas puede ser controlado en este tipo de arquitectura siempre y cuando los elementos utilicen señalización interna para mantener una secuencia ordenada de sus acciones.

Los MGCs utilizan un protocolo de comunicación conocido simplemente como MGCP. El mismo implementa una comunicación maestro-esclavo entre los MGCs y los MGs, para la administración de llamadas y conexiones. MGCP se basa en conexiones y puntos terminales para su funcionamiento.

Las conexiones no son más que segmentos reservados de la capacidad

de la red IP sobre los cuales se interconectan los puntos terminales. Los puntos terminales a implementar son los siguientes:

- Canal DS0, canal de 64kbps el cual se multiplexa de una trama de orden superior E1 (2048kbps) o bien T1 (1544kbps).
- Línea analógica POTS, sirve de interfaz a un teléfono convencional.
- Punto de acceso de servidor de anunciación, es una conexión unidireccional hacia un servidor cuyo propósito no es más que el envío de información sobre una conexión al MGC.
- IVR ó *Interactive Voice Response*, este punto terminal tiene como función la provisión de acceso a un sistema IVR para dejar mensajes guardados y el receptor pueda interactuar con el sistema.
- Punto de conferencia, o *Conference Bridge*, es un punto donde se pueden mezclar múltiples conversaciones para crear una conferencia de N participantes.
- Punto de relevo de paquetes o *Packet Relay*, cumple la misma función que el anterior solo que se limita a dos conexiones. Una aplicación frecuente de este tipo de punto terminal es la de establecer un mecanismo de seguridad entre dos redes.
- Punto de acceso en paralelo o *Wiretap*, se utiliza para monitorear el audio transmitido de un punto terminal hacia otro.
- Interfaz de troncal ATM, utilizado para conectar una troncal virtual ATM y da la función de interoperación entre VoIP y VoATM

El *Softswitch* envía dos tipos de mensajes a todos los MGCs:

- Directivas locales: que sirven para especificar los recursos de red necesarios para establecer una conexión y el modo de operación de la misma. También especifica la codificación del mensaje, tasa de paquetización, uso de cancelación de eco, supresión de silencios.
- Mensajes SDP, el cual se encarga de describir la forma en que el lado remoto recibirá los paquetes, por ejemplo si soporta o no algoritmos de compresión, etc.

La flexibilidad de estos procedimientos es la que permite cierta integración con las redes convencionales PSTN, el único inconveniente es la complejidad de los protocolos, la cantidad de interacción entre el *Softswitch* y los MGCs y su integración al momento de conectarse con un punto terminal H.323 por ejemplo.

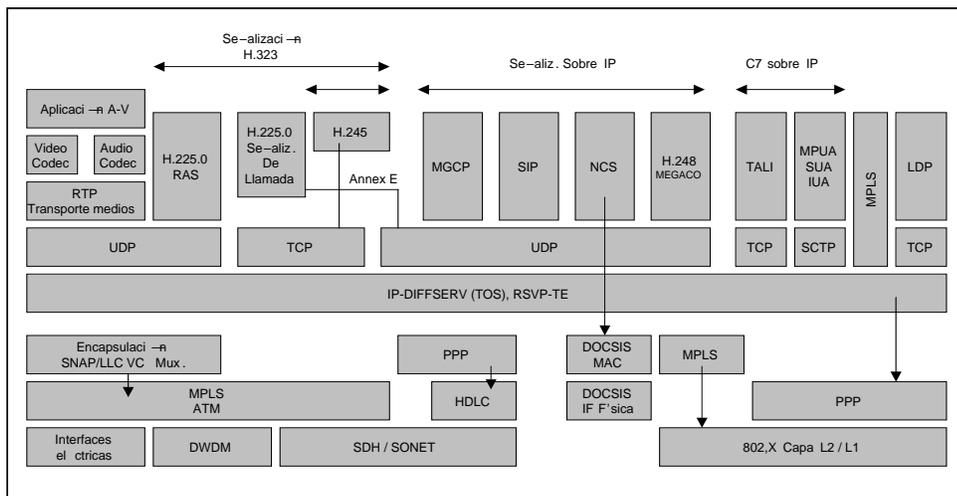
En toda plataforma de señalización es de vital importancia mantener una comunicación eficiente entre puntos terminales y entre conmutadores y puertas de enlace hacia otras redes para mantener una tasa de llamadas por segundo que sea competitiva en comparación con los sistemas convencionales, lo cual se da minimizando los mensajes requeridos para establecer llamadas entre los elementos de la red. Por ejemplo H.323 en su segunda versión empezó la implementación de procedimientos para minimizar los mensajes de establecimiento de llamada por demanda (actualmente H.323 ha completado su cuarta versión la cual promete una mayor eficiencia). Los protocolos de establecimiento de llamada se hacen más eficientes y flexibles cada vez, lo cual hace necesario que se realicen pruebas de compatibilidad entre sistemas para poder garantizar el establecimiento de un estándar sobre el cual todas las plataformas VoIP hablarán en el futuro.

#### **1.16. Resumen de protocolos VoIP**

En las secciones anteriores, se expusieron los esquemas H.323, MGCP y H.248, como los métodos más comunes de implementar VoIP. En la práctica, las redes VoIP se pueden construir de manera heterogénea, implementando H.323 y MGCP/H.248 una red complemento de la otra.

Para resumir los esquemas y protocolos a implementar en una red, se presenta a continuación la siguiente gráfica:

**Figura 19: Resumen de protocolos VoIP**



Fuente: Bill Douskallis. *Putting VoIP to Work*, P.5

En la parte superior del diagrama se delimitan las tecnologías de

transporte de señalización sobre IP: H.323, Señalización sobre IP (MGCPs) y C7 sobre IP. En la parte inferior se muestran los métodos de transporte y acceso y en el medio se representa IP con opciones de calidad de servicio como Diffserv TOS y RSVP-TE. Más adelante se cubrirán estos temas con mayor detalle en la sección de la red de transmisión.



## 2. CONSIDERACIONES DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

### 2.1. Generalidades

El sistema de transmisión es el responsable de recolectar el tráfico desde los puntos de presencia y optimizarlo a manera que sea posible su disseminación en un canal de comunicación. Luego de viajar por el canal, el sistema, es el encargado de entregar los datos verificando, previamente, la integridad de los mismos.

El sistema de transmisión en soluciones tradicionales de telefonía, lo componen las interfaces y líneas troncales entre centrales, típicamente integradas por multiplexores TDM con interfaces PDH y SDH en la capa de transporte, pero también pueden existir nuevos mecanismos basados en redes IP/MPLS para efectuar estas tareas.

La ingeniería de tráfico es una parte importante dentro del proceso de diseño de la red, y es precisamente el tomar los pasos adecuados para dimensionar las capacidades de la red que soportará la aplicación a implementar. Desde el punto de vista del análisis de tráfico, las fuentes pueden ser categorizadas como demandantes de una tasa de bit constante (CBR) o como de tasa de *bit* variable (VBR). En general, el tráfico de voz y/o vídeo, es catalogado como CBR aunque bajo un sistema paquetizado se vuelve VBR. Un sistema VoIP tiene como primer factor a considerar, el ancho de banda disponible en la red de transmisión.

El ancho de banda requerido por los servicios VoIP es función del CODEC a implementar, del número de muestras por paquete y de los encabezados aplicables a los diferentes protocolos a utilizar.

La red de transmisión tiene como función el transporte de dos tipos de tráfico: el tráfico de los canales de audio y el tráfico de los canales de señalización. Ambos tipos tienen requerimientos particulares para su eficiente transmisión a través de la red, y se implementan mecanismos específicos para cada uno.

Como se expondrá en este capítulo, existen varias alternativas en cuanto a las redes de transmisión a utilizar.

## **2.2. Requerimientos de la red**

### **2.2.1. Tecnología de transmisión**

Para poder dimensionar el tráfico y establecer una topología de red adecuada, es necesario definir la tecnología VoIP a utilizar en el proyecto. Como se describió en el primer capítulo, existen varias soluciones de Voz sobre IP. Por la arquitectura del sistema de señalización, se pueden clasificar en dos grupos:

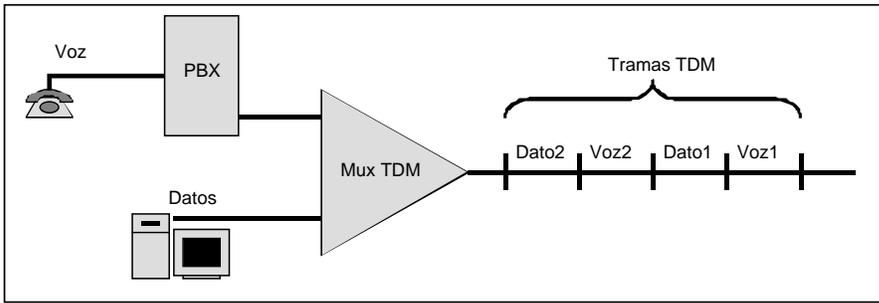
- Arquitectura Híbrida H.323
- Arquitectura de *Softswitch*

Dado que la arquitectura de *Softswitch* ha tenido mayor respaldo por parte de la industria proveedora de equipo de telecomunicaciones, y por lo tanto cuenta con mayor soporte a nivel mundial se asumirá, para propósitos del trabajo, que esta sea la arquitectura a implementar.

En términos de topología, la red contará con MGCs como elementos de control y señalización y MGs para hacer la conversión de señales analógicas a digitales en paquetes. La distribución de los elementos estará de acuerdo con la demanda y necesidades reales de los usuarios, teniendo en cuenta las limitantes de la red misma y de la infraestructura.

Desde el punto de vista de la red de transmisión, la tecnología a utilizar no cambia demasiado en comparación de un sistema convencional. Se utilizan concentradores, multiplexores y crosconectores y los mismos medios de transmisión para llevar los datos desde los puntos de acceso de la red hacia el punto de concentración final en el conmutador y la red PSTN. La idea central es re-utilizar las facilidades de transmisión que típicamente emplean los sistemas convencionales para llevar servicios de datos y voz. La forma convencional de integrar los servicios de voz y datos se ilustra a continuación:

**Figura 20: Integración tradicional de voz y datos**



**Fuente: Gilbert Held. *Voice & Data Internetworking*, P. 5**

Es importante que sea posible la reutilización de la infraestructura de transmisión utilizada para los sistemas convencionales, pero es necesario también que los nuevos sistemas utilicen más eficientemente dichos recursos. En un sistema convencional, G.711 los canales de voz utilizan facilidades de transmisión bidireccionales a 64kbit/s. Estas facilidades se utilizan el 100% del tiempo sin importar la forma de utilización del canal de voz en los puntos terminales, hasta que el sistema detecta que uno de los dos extremos “corta” la comunicación, el canal de señalización manda el comando para terminar la conexión.

Al reutilizar la infraestructura transportamos los canales de comunicación de los MGs, encapsulando IP sobre tramas Ethernet, PPP, FR ó HDLC y a la vez sobre un medio TDM (Sobre SDH, o PDH dependiendo de la capacidad requerida), o sobre ATM.

## **2.3. Criterios para el diseño de la red de transmisión**

Los criterios para el diseño de la red de transmisión deben apegarse a ciertos criterios para la implementación de una solución viable VoIP a mediana escala. Los criterios principales a tomar en cuenta son:

### **2.3.1. Equipamiento y topología**

En la red de transmisión, se toman en cuenta todos los servidores, enrutadores, conmutadores (*Switches*), concentradores de acceso, IADs, *Proxy* y equipo de transmisión en *Fig 2-3: Matriz de tráfico simplificada para 3 nodos general*. La red de transmisión tiene la función de proveer de facilidades para el transporte de servicios mediante la utilización de interfaces tributarias y agregadas en los nodos que la conforman. La red en cuestión se puede dividir en tres secciones:

- Red de Transporte
- Red de Consolidación (puede considerarse como extensión del transporte)
- Red de Acceso

La red de transporte es la encargada de interconectar los puntos de presencia principales mediante conexiones de alto orden. Por lo general se utiliza tecnología SDH para construir esta capa. El medio físico de transmisión es la fibra óptica monomodal, aunque actualmente se pueden implementar enlaces de microondas hasta una jerarquía SDH de nivel STM-4.

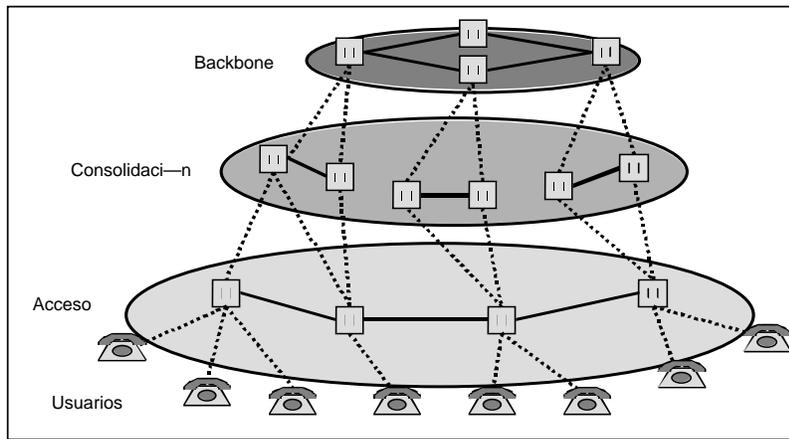
El dimensionamiento de los enlaces en SDH seguirá lo requerido por las capas inferiores considerando holgura para el crecimiento de la demanda en años venideros, la cantidad de nodos intermedios y si se quiere implementar un esquema de protección en anillo compartido ó dedicado. La red de transporte tiene poco movimiento en términos de la creación y borrado de conexiones ó circuitos. Los servicios que se derivan de la red de transporte se prestan a nivel E1, E3 y/o DS3 y STM-1.

Existen varias alternativas para conformar la capa de transporte, SDH solamente es un tipo, existen redes ATM de alta velocidad, enlaces *Frame Relay* aunque estos métodos traen cierto encabezado que hay que considerar en el ancho de banda total, y dado a que la voz es un sistema con altos requerimientos de tasas de bit constante no puede aprovechar tanto de las técnicas de optimización de ancho de banda y multiplexación estadística lograda con ATM y/o *Frame Relay*. De hecho hay que optar por una cierta emulación de servicios CBR para lograr una calidad aceptable.

La red de consolidación tiene como función la optimización de los enlaces agregados que vienen desde la capa de acceso. También tiene como función el ordenamiento de los servicios tributarios al momento de ser incorporados a los enlaces agregados. Es conveniente que un servicio de extremo a extremo de la red tenga el menor número de saltos posibles entre nodos ó puntos de presencia ya que esto conlleva el consumo de recursos de transmisión, crosconexión. El medio físico de transmisión de esta capa de red es indiferente, puede ser óptico, por hilos de cobre (xDSL) o inalámbrico. La red de consolidación tiene movimiento intermedio en la creación y borrado de conexiones ó circuitos. La red de consolidación toma los servicios tributarios de la red de transporte y hace el ordenamiento de las interfaces canalizadas desde la red de acceso.

La red de acceso es la responsable de crear los medios de transmisión de última milla hacia la red del cliente. En el caso de una red VoIP la red de acceso proveerá los enlaces de lazo local con los abonados y/o centros de telefonía comunitarios a implementar, típicamente se implementa sobre enlaces inalámbricos terrestres o satelitales, aunque de contar con la infraestructura se pueden implementar sobre pares de cobre e incluso fibra óptica. A continuación el modelo de capas para las tres secciones de la red de transmisión:

**Figura 21: Capas de la red de transmisión**



Como se mencionó al principio del capítulo, se asume que reutilizarán los equipos y medios de la red de transmisión existentes ya sea que sean propios ó arrendados a terceros. Los enlaces de lazo local ó de última milla serán implementados, ya sea con medios inalámbricos utilizando el las recomendaciones establecidas por IEEE-802.11x, como también mediante medios eléctricos u ópticos que existan como parte de la planta externa.

Se escoge por lo general un medio inalámbrico ya que es el más sencillo y barato de implementar y mantener.

### 2.3.2. Eficiencia de transmisión

La eficiencia de transmisión es un parámetro puramente cuantitativo, y viene dado por la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

Donde:

$\rho$  = eficiencia de tráfico

$\lambda$  = tráfico ofrecido (paquetes / seg)

$\mu$  = capacidad del enlace (paquetes / seg)

El factor de eficiencia varía de enlace a enlace, y tiende a disminuir en interfaces de transporte con mucha información de encabezado, por ejemplo en sistemas SDH/SONET, y en las mismas interfaces de red con muchos datos de encabezado (IP+UDP+RTP+RTCP+L2).

Puede ser atractivo, entonces escoger un protocolo cuyo encabezado pueda comprimirse para mejorar el factor de eficiencia del enlace.

### **2.3.3. Redundancia**

Al planear la implementación de una red de telecomunicaciones con puntos de acceso remotos, llega el momento en que se cuestiona la implementación de rutas primarias y rutas de protección. El sistema de transmisión tiene varias alternativas para proveer redundancia a los servicios, que van desde redes SDH con protección SNCP o MS-SPRing, como redes PDH de menor denominación con métodos de redundancia menos sofisticados.

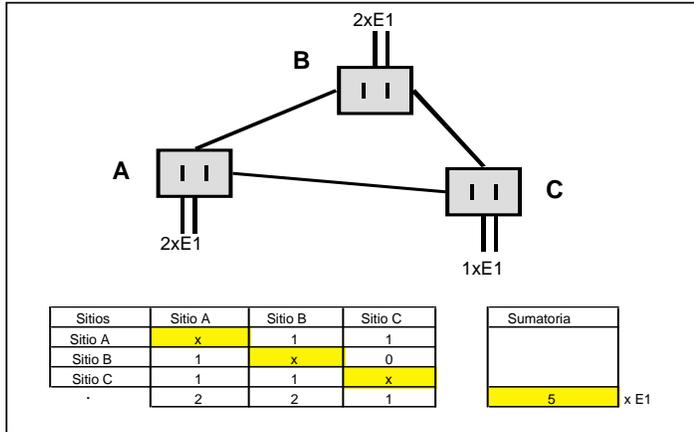
Para un sistema de distribución de telefonía como el que se plantea se requiere de un mecanismo básico de redundancia en transmisión por lo menos para los puntos de presencia principales ya sea que sean inherentes a la plataforma de transmisión (por ejemplo, el uso de conexiones SNCP en SDH), ó bien que se cuenten con enlaces redundantes 1: N. Es necesario implementar redundancia en interfaces de transmisión, interconexión, en fuentes de poder, en procesadores, memorias no volátiles para garantizar el 99.999% de disponibilidad que buscamos.

### **2.3.4. Matriz de tráfico**

Una matriz de tráfico es un arreglo de filas y columnas por medio de la cual se determina la totalidad de tráfico que fluye de un nodo a otro dentro de la red de transmisión. Es de particular importancia para planificar la red de transporte.

La matriz de tráfico es de gran utilidad en una red existente que con varios nodos y enlaces. Explicaremos su construcción para establecer un mecanismo para el dimensionamiento adecuado de la red.

**Figura 22: Matriz de tráfico simplificada para 3 nodos**



En la matriz presentada en la figura anterior, se muestran 3 nodos o puntos de presencia y se estima que cada uno tendrá una demanda de  $x$  puntos de presencia y se estima que cada uno tendrá una demanda de  $x$  interfaces de servicios (en nuestro caso serán interfaces E1). Si en el sitio A se requiere que se crosconecte 1 E1 desde B y 1 E1 desde C, entonces la demanda de interfaces locales en A será de 2 E1, pero si requiero crosconectar interfaces adicionales de A hacia una capa superior de la red de transmisión, se utilizará la variable “ $x$ ” para designar esta demanda de interfaces y se sumará a la totalidad de facilidades de transmisión requeridas por ese nodo.

La suma de las capacidades demandadas por todos los nodos de la matriz, determinará la capacidad de los enlaces de transmisión, si es que se quiere optar por un esquema de redundancia en anillo con capacidad de 5 E1 bidireccionales como se muestra en la figura.

En el caso del transporte de una red IP superpuesta, es necesario que la red de transmisión provea de suficiente ancho de banda para acomodar el tráfico de audio y señalización, como el encabezado de los protocolos a utilizar. Veremos más adelante que el tamaño del paquete IP está sujeto a cambios por la cantidad de encabezados de los protocolos utilizados.

## **2.4. Sincronización**

### **2.4.1. Sincronización de la red de transporte**

La sincronización de red juega un papel vital en el sistema PSTN convencional, donde interfaces TDM como E1, E3 utilizan ranuras de tiempo de 64kbps para transportar los canales de usuario. Es por esto que la temporización entre nodos es vital para asegurar el acceso secuencial de dichos canales.

Para el caso de sistemas ETSI, los estándares relacionados con las fuentes SSU de sincronización son:

**Tabla III: Estándares ETSI de sincronización**

<b>Estándar</b>	<b>Area</b>	<b>Descripción</b>
G.811	PRC	Características de la fuente primaria de sincronización.
G.812	SSU	Requerimientos de fuentes esclavas de reloj para ser utilizadas en redes sincronizadas.
G.810	Sync	Definiciones y terminología de redes sincronizadas.
G.813	Sync	Características de fuentes esclavas de sincronía para equipos SDH.
G.823	Sync	Control de fluctuaciones (Jitter & Wander) basadas en sistemas de 2.048 Mbps
G.703	E1	Características físicas y eléctricas de interfaz de jerarquía digital
G.704	Sync	Estructuras de trama sincronizada utilizada a niveles jerárquicos 1544, 6312, 2048, 8448 y 44736

**Fuente: ITU-T ([www.itu.int](http://www.itu.int))**

La sincronización es necesaria dado a que existen muchas fuentes de información digital que generan datos independientes, por ejemplo, múltiples conmutadores dentro de una red o interconexión de redes de conmutación de diferentes proveedores. Como sabemos al existir degradación de sincronización en una red, se generan fluctuaciones de frecuencia (*Jitter* y *Wander*).

#### **2.4.2. Sincronización de la red IP**

En una red de voz sobre IP, las señales de audio se codifican y se agrupan por un agente especializado, denominado CODEC el cual utiliza un algoritmo especializado para realizar esta tarea. Como se vió al principio de este capítulo, es posible implementar un sistema con detección de audio y silencios (VAD) para optimizar la utilización de los enlaces. En el proceso general la señal codificada llega al extremo opuesto del canal y el mismo agente decodifica la información e intenta reproducir el audio lo más cercano a la muestra original. Todo este proceso causa un tiempo de retardo entre la emisión y recepción del mensaje, y más importante, la variación de este tiempo, es la que más puede afectar la calidad del sonido interpretado del extremo de cada receptor, haciendo la comunicación hablada muy difícil de realizar.

La manera en que se puede compensar por estos cambios en la magnitud del retardo en cada extremo, es el almacenar los datos en dispositivos de amortiguación o *Buffers*, los cuales reproducen el audio a una tasa constante, teniendo en cuenta que todo dato que se reciba antes del tiempo de reproducción puede utilizarse para reconstruir la forma de onda original y los datos que lleguen después se descartan.

En el caso del tráfico de voz, el efecto de un deslizamiento y variaciones de frecuencia y fase en la señal digital, es mínimo, sería manifestado por una interrupción momentánea de audio en la conversación, muchas veces imperceptible ó por lo menos no significativa para la conversación entre dos usuarios. En el caso de tráfico de datos, un deslizamiento requiere que el emisor retransmita la información al receptor, por lo que se genera un problema más serio.

El retardo variable es más significativo cuando se realizan llamadas a través de Internet. Este no es necesariamente el caso que se plantea con la red VoIP rural, más bien se considerará que el retardo es más o menos constante en el tiempo dado a que no es una red compartida y pública como Internet sino más bien, el concepto es el de una intranet para voz, por lo que consideraremos la variación de retardo como una variable casi constante, y no significativa en cuanto a la toma de decisiones.

Las redes IP por sí solas, no requieren sincronización, excepto cuando se utilizan para llevar ciertos tipos de tráfico. De hecho, una red VoIP simple, no necesita sincronización para establecer una llamada de computadora a computadora (por ejemplo la aplicación VocalTec PC-PC implementada en 1995), a través de la red Internet. Por supuesto que esta aplicación preliminar no contaba con características especiales de calidad de servicio, pero fue aceptada por su bajo costo.

Una aplicación VoIP puntual entre no requiere sincronización para funcionar, pero dado a que el objetivo de nuestra red es brindar un servicio de buena calidad a mediana escala, es necesario que la red cuente con puntos de sincronización en las interfaces con las que se interconecta con la red TDM.

Muchos proveedores cuentan con interfaces de sincronización en su equipo MGC, y *SoftSwitch* para éste propósito, y deben de ser usadas para evitar efectos indeseables en la calidad del servicio, independientemente de que medio de transmisión se utilice para llegar al usuario.

## **2.5. Protocolos de transmisión: TCP, UDP y SCTP**

La red de transmisión es la base para la construcción de la red de telecomunicaciones, a ella es que conectamos los dispositivos terminales de aplicación como conmutadores, enrutadores, servidores y todos los dispositivos que se utilicen en las diversas aplicaciones ofrecidas. Si bien tenemos definida la capacidad de nuestra red de transmisión, los sistemas que utilizan las facilidades de transmisión deben utilizar eficientemente los recursos que las mismas proveen, esto se vuelve más crítico si tomamos en cuenta que la infraestructura que estamos ocupando está compartida con otros servicios.

Es por esta razón que debemos optimizar la forma en que se transmiten los paquetes de la red de nodo a nodo. El protocolo de Internet como tal no posee un mecanismo de transmisión confiable, necesita de un protocolo adicional para ofrecer las funciones de retransmisión, control de flujo y corrección de errores. La forma en que el sistema de voz sobre IP utiliza los distintos protocolos y sistemas en relación al modelo de capas de red OSI, puede ser resumida en la siguiente figura:

**Figura 23: Modelo de red de la solución general VoIP**

Aplicación: Voz, Datos, Video
Presentación: CODEC: G.729, G.711
Sesión: H.323, STP
Transporte: RTP, UDP, RSVP
Capa de Red: IP
Capa de Enlace: Datalink, PPP, Frame Relay, ATM
Capa Física

**Fuente: Lawrence Harte, *Introduction to SS7 and IP*, P. 4**

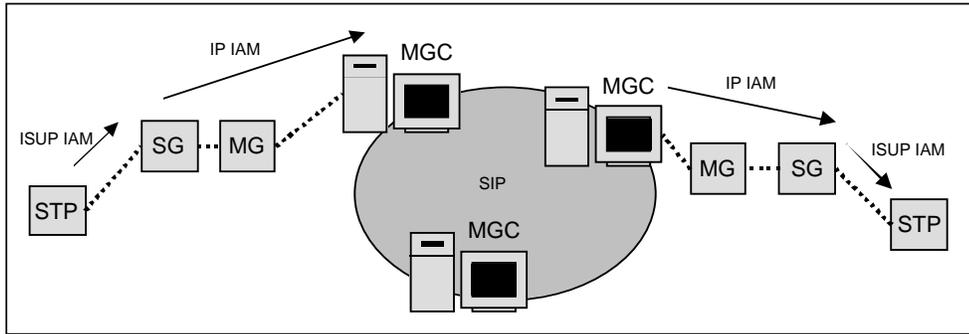
Para la transmisión de datos sobre IP se utiliza TCP para garantizar el envío de paquetes de nodo a nodo, y es útil para llevar datos cuando el tiempo de retardo no es un problema. Pero en sistemas donde la carga útil del servicio es susceptible a degradación por excesivo retardo, como lo hemos visto en el caso de la voz, vídeo ó señalización telefónica sobre IP, TCP/IP no es una solución viable, debemos usar otro mecanismo no tan confiable como TCP pero que introduzca menos retardo para hacer posible la transmisión de voz. UDP/IP introduce una solución viable para la transmisión de voz y contenido de multimedia en tiempo real. UDP es mucho más sencillo que TCP, y a diferencia del mismo, no se basa en conexiones semi-permanentes y posee una sección de encabezado mucho más sencilla.

En el caso que se lleguen a perder paquetes en la transmisión de un punto a otro, UDP no posee los mecanismos para solicitar la retransmisión del paquete perdido, lo cual para servicios de voz puede o no llegar a notarse en la conversación, llegando a ser una molestia para el usuario pero definitivamente no sería una catástrofe que impida la realización de la conversación. UDP no es adecuado para transportar señalización ya que no guarda un orden en la transmisión de mensajes, ni es lo suficientemente confiable como para que cumpla con los requerimientos de un sistema maduro como lo es C7.

En ciertas soluciones de voz sobre IP, como la definida por H.323, se utiliza UDP para llevar la información de audio y multimedia a través de la red, y TCP para llevar la información de señalización. Estos métodos son adecuados para redes pequeñas las cuales no ofrecen la disponibilidad de una red convencional. En el caso del transporte de la señalización a través de la red IP, TCP sería el método de transporte de señalización, pero se han detectado problemas de desempeño requerido por los enlaces de señalización C7.

Debido a esto IETF ha desarrollado un grupo de trabajo denominado "SIGTRAN", el cual tiene encomendado encontrar la mejor forma de transmisión de señalización de canales de telefonía a través de la red IP. SIGTRAN tiene como misión el establecer los mecanismos para la transmisión de señalización proveniente de un STP de una red C7, la cual se exporta al mundo IP como una señal ISUP IAM entrante a un SG (*Signalling Gateway*), el cual a su vez enruta hacia un MGC (*Media Gateway Controller*) por medio del MG (*Media Gateway*), y este a su vez conmuta la señalización en la red IP hacia un MGC receptor y la información viaja hacia otro punto terminal STP siguiendo el mismo mecanismo. A continuación una breve ilustración del proceso:

**Figura 24: Conexión de canales de señalización SIGTRAN**



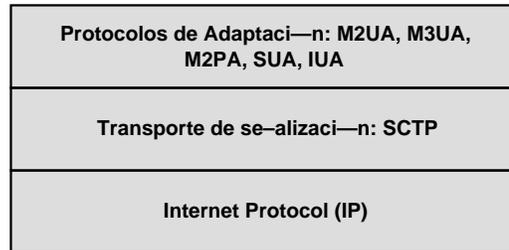
Fuente: Daniel Collins. *Carrier Grade Voice over IP*, P. 329

La arquitectura del sistema SIGTRAN se describe en el documento RFC 2719. De acuerdo con lo descrito en este documento, los componentes de transporte en el sistema SIGTRAN son los siguientes:

- Transporte estándar IP
- Transporte común de señalización
- Módulo de adaptación

Y las tres secciones se combinan para conformar el protocolo SCTP definido por el documento RFC 2960. El protocolo se describe esquemáticamente de la siguiente manera:

**Figura 25: Protocolo SCTP esquematizado**



Fuente: Lawrence Harte, *Introduction to SS7 and IP*, P. 5

Los canales IP son manejados por el protocolo de transporte SCTP el cual garantiza la secuencia y confiabilidad de los datos recibidos y transmitidos y los protocolos de adaptación y sirven de interfaz con la red telefónica PSTN. Convierten los protocolos entre el sistema SIGTRAN y C7.

La aplicación primordial del sistema SIGTRAN es el transporte de señalización fuera de banda (*out of band signalling*), y puede ser utilizado para llevar diferentes tipos de señalización C7 u otras dada la flexibilidad de su módulo de adaptación. Como protocolo de transmisión, SCTP, tiene la función de transmisión de datos secuenciales libres de errores que lleven los mensajes de los usuarios de extremo a extremo de la red. Una ventaja que SCTP tiene con respecto a TCP es la habilidad de manejo de fallas a nivel de red lo cual es necesario para garantizar el desempeño de la red VoIP. En general SCTP es el protocolo propuesto por IETF para el transporte de señalización de telefonía sobre IP. Entre los elementos clave de las características de SCTP están:

- Canalización de mensajes (*Message Framing*)
- Transmisión a múltiples destinos (*Multi-homing*)
- Uso de múltiples grupos secuenciales (*Multi-streaming*)

La posibilidad de entregar servicios canalizados asegura que SCTP transmitirá los mensajes de manera secuencial y de forma confiable. El sistema más confiable de transmisión confiable es TCP. En un nodo que soporte interfaces TCP/IP, la transmisión de una interfaz a otra puede ser vista como una memoria FIFO lo cual puede ser una ventaja obvia sobre otros protocolos de transmisión, el problema de TCP para transmitir trenes secuenciales de pulsos es que si el primer paquete de una secuencia es perdido, todos los paquetes subsecuentes tendrán que esperar al primero lo cual es inaceptable en un ambiente donde la entrega de paquetes secuenciales debe realizarse con el mínimo retardo posible, como por ejemplo en sistemas de voz , y vídeo en tiempo real. SCTP resuelve el problema mediante dos técnicas:

- Envío de mensajes fuera de orden (*unordered messages*)
- Utilización de SCTP *Multi-Streaming*

El sistema de mensajes fuera de orden permite que cualquier paquete individual se marque como “fuera de orden” en ese caso, si el primer paquete de una secuencia no es transmitido, se transmiten los siguientes sin esperar la retransmisión del primero, esto evita las esperas de paquetes en cola por solicitud de retransmisión. SCTP *Multi-Streaming* es una técnica en la cual las secuencias de paquetes SCTP son transmitidos en múltiples grupos enviados por distintas rutas de la red, en contraste el sistema TCP puede decirse que tiene un solo grupo secuencial, mientras SCTP puede tener N grupos distintos para enviar un solo mensaje a través de una red.

La posibilidad de entregar tráfico a múltiples puntos de red (*Multi-Homing*), permite que los paquetes originados en un nodo tengan la posibilidad de entregarse en múltiples interfaces físicas del nodo destino, lo cual es particularmente útil para garantizar el envío secuencial y a tiempo de un paquete en la red IP, asegurando así la calidad del servicio. En el formato SCTP todos los paquetes llevan una dirección de transporte que se compone de una dirección IP, que puede ser distinta en todas las interfaces físicas, y un número de puerto, que es fijo. Por esto se dice que un punto terminal SCTP posee varias direcciones de transporte pero una dirección de transporte solo puede pertenecer a un punto terminal SCTP.

Actualmente no se cuenta con grandes implementaciones de SCTP pero esto está por cambiar ya que SCTP cuenta con gran apoyo humano y recursos para su desarrollo. Dentro de las empresas que apoyan el desarrollo de SCTP como un protocolo de implementación masiva están: Sun Microsystems, Cisco Systems, IBM, Nortel Networks, Nokia, Ericsson y Siemens. Al tercer trimestre de 2003, IBM está desarrollando la nueva plataforma LINUX para que cuente con SCTP como parte de sus servicios básicos (LKSCTP de sus siglas en inglés: Linux *Kernel* SCTP).

Para comparar los protocolos de transporte IP, construimos la siguiente tabla:

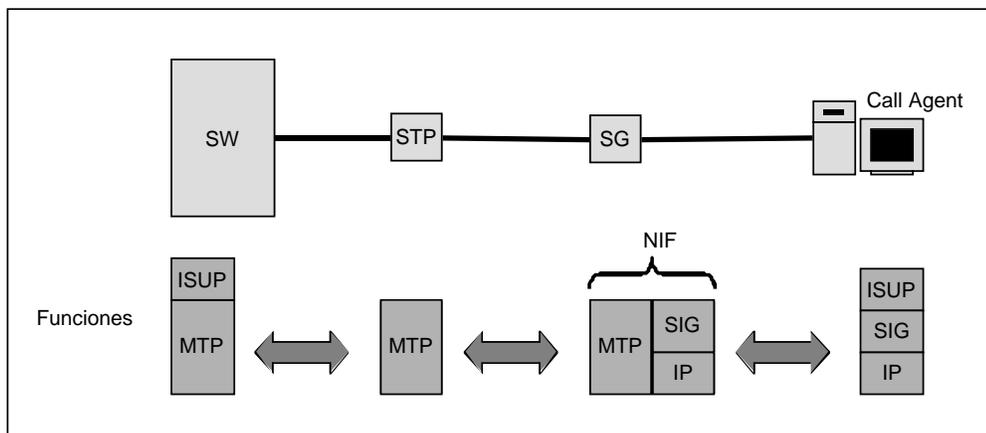
**Tabla IV: Resumen de características de protocolos de transmisión**

Característica	UDP	TCP	SCTP
Canalizado ( <i>Framing</i> )	X		X
Confiabilidad		X	X
<i>Multi-homing Failover</i>			X
Ordenamiento de mensajes		X	Optativo, <i>Multi-stream</i>
Fragmentación de PMTU		X	X
Agrupamiento ( <i>Bundling</i> )			X
Soporte de Control de Flujo y Congestión		X	X

Fuente: IBM Linux Technology Center Technical Books LKSCTP

La forma en que un sistema SIGTRAN se integra a la PSTN es a través de la función de interoperación de nodo NIF, la función se describe en la siguiente gráfica:

**Figura 26: Red de transporte SIGTRAN**



Fuente: Daniel Collins. *Carrier Grade Voice over IP*, P. 332

El protocolo SCTP esta diseñado para mantener una ruta en la red IP y coordinar el envío y recepción en tiempo “casi real”. Cada paquete SCTP contiene información para su autenticación.

Los módulos de adaptación del sistema SIGTRAN son los que le permiten establecer comunicación entre la red IP y C7.

## **2.6. Protocolo de transmisión de medios: RTP y RTCP**

En la sección anterior se expusieron las características técnicas de los protocolos de transporte de señalización. Comprobamos que UDP no es adecuado para el transporte de señalización, y TCP introduce demasiado retardo por sus mecanismos de comprobación y retransmisión de paquetes. En el caso de aplicaciones como voz ó vídeo, se requiere de un protocolo que adapte las condiciones de calidad de la red IP para hacerla más “compatible” para dichas aplicaciones.

Para evitar el retardo innecesario se adopta como protocolo principal de transporte a UDP, pero como vimos, el mismo no hace nada para evitar la pérdida de paquetes o siquiera para asegurarse que los mismos lleguen en el orden adecuado al punto receptor. RTP, ofrece las facilidades para detectar la secuencia de envío de paquetes para poder detectar cuando existen paquetes perdidos ó si los mismos llegan fuera de secuencia. A nivel de aplicación es importante sincronizar la reproducción de audio en un extremo al otro, de hecho, es la aplicación en sí la que toma la decisión en cuanto a la mejor manera de manejar los paquetes, basándose en la información provista por RTP.

RTP posee un protocolo paralelo denominado RTCP, el cual tiene como función el intercambiar datos de sesiones entre usuarios, y proveer datos sobre la calidad de las sesiones. Al abrir una sesión RTP se abre también una RTCP, sobre un puerto UDP. RTCP es un protocolo opcional y puede ser deshabilitado a petición del operador, pero es recomendado mantener las sesiones RTCP para proveer información sobre calidad de servicio en los puntos terminales de la red. RTP incluye la información necesaria para detectar el tipo de datos que transporta. Esto es particularmente útil en el caso de la interoperación entre dos tipos distintos de CODEC. Claro que RTP no provee el mecanismo para efectuar la negociación del CODEC. SIP por ejemplo, utiliza la información contenida en el encabezado RTP para efectuar el proceso de negociación de CODEC entre dos puntos terminales.

## **2.7. Ingeniería de tráfico**

Como se vió en secciones anteriores, es relativamente fácil construir una matriz de tráfico para un sistema TDM, donde se manejan conceptos estáticos como ranuras de tiempo, contenedores de tamaño fijo, y servicios CBR. En el caso de una red IP, el trabajo no es tan obvio, más si se utilizan protocolos de red más complejos como FR, PPP ó encapsulamiento sobre Ethernet. En la sección 1.15.3 se vió que la red IP por sí sola no garantiza las rutas dedicadas para la transmisión de canales de voz o de datos de un punto a otro y que la pérdida de paquetes es algo común en redes IP. Para garantizar la entrega satisfactoria de los datos de extremo a extremo, la red IP debe emular lo ya logrado por una red de conmutación de circuitos TDM.

La IETF ha trabajado para crear los mecanismos necesarios para dar a la red IP la posibilidad de garantizar el ancho de banda entre dos puntos, y diferenciar entre servicios de alta, mediana y baja prioridad. Para estos propósitos, existen tres mecanismos:

### **2.7.1. Reserva de recursos**

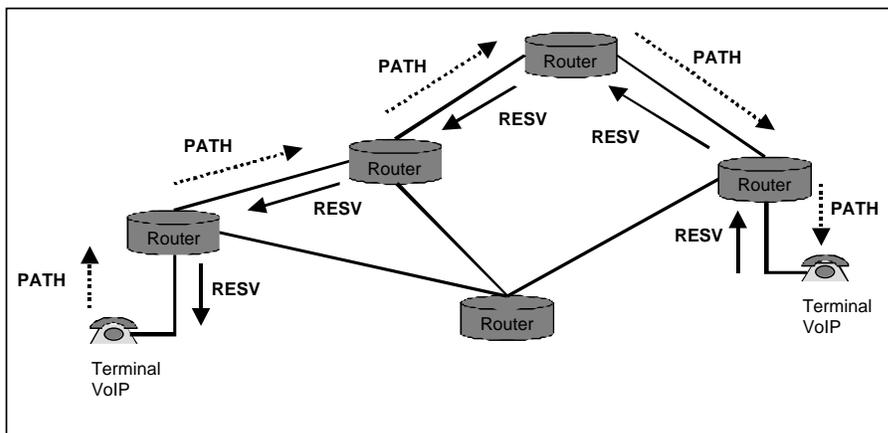
Los mecanismos de reserva de recursos en una red IP, se especifican en el documento RFC 2205 en el protocolo de reserva de recursos o RSVP. RSVP es un protocolo que permite la reserva de recursos por sesión (o conjunto de sesiones), antes de realizar cualquier intento de conexión entre dos puntos. La implementación de RSVP en la red IP es la más compleja para lograr un control sobre la asignación de recursos para servicios, pero es también la que más se asemeja al servicio de emulación de circuitos (CES), requerido para llevar servicios de voz con tasa de bit constante en otras soluciones (Ej. ATM). RSVP provee de suficientes garantías de calidad de servicio y granularidad en la asignación de recursos por demanda, provee también, las herramientas para retroalimentar las capas de aplicación y usuarios para propósitos de control y monitoreo, haciendo énfasis en la temporización de envío y recepción de los paquetes entre los puntos de conexión, definiendo un rango de retardo que sea considerado adecuado para la aplicación y las condiciones actuales de la red.

RSVP en su versión actual, ofrece dos niveles de servicio:

- Nivel de servicio Garantizado.
- Nivel de servicio de carga controlada (*Controlled load*).

El servicio garantizado es el que más se asemeja al servicio de emulación de circuitos CES, y es el apropiado para aplicaciones de voz con calidad aceptable. El servicio de carga controlada, provee un nivel de calidad de servicio similar al esperado en una red IP convencional bajo condiciones de tráfico holgado. El mecanismo se ilustra mediante la siguiente figura:

**Figura 27: Reserva de recursos usando RSVP**



Fuente: Daniel Collins. *Carrier Grade VoIP*, P. 384

Como se aprecia en la figura, la terminal VoIP genera un mensaje denominado "Path" el cual es enviado a todos los Enrutadores intermedios, hasta llegar al punto de terminación del servicio. El mensaje contiene la información necesaria para especificar las características del tráfico (Tspec ó *Traffic Specification*), entre las que figuran el requerimiento de ancho de banda y el tamaño del paquete a generar. Al generar la trayectoria, todos los enrutadores y terminales que cuentan con la funcionalidad de RSVP, responden con un mensaje de aceptación de reserva "Resv" que incluye un campo de información denominado "flowspec", el cual determina a "Tspec" y la información suficiente para especificar el tipo de reserva para el servicio, si es de tipo "garantizado" o por "carga controlada".

El mensaje "Resv" viaja a través de la misma ruta, hacia el punto de origen de la misma, y es entonces que se confirma la reserva de los recursos para el servicio, creando un circuito emulado entre los puntos terminales de interés. RSVP no transporta en sí los datos (voz codificada), solamente actúa previo al establecimiento de la ruta, luego es el turno del protocolo de medios (RTP), que es el que transporta la voz codificada en sí. Sin embargo las condiciones de reserva hechas por RSVP requieren ser reconfirmadas regularmente y durante el establecimiento del servicio, una vez el usuario corta la comunicación la ruta desaparece.

Como vimos, el nodo originador manda una dato Path y el receptor tiene que contestar con un mensaje Resv, esto es debido a que RSVP fue creado como un protocolo apto para múltiples receptores y un número limitado de emisores (*Multicast*), en donde la capacidad reservada por un enrutador con múltiples receptores es el máximo estimado por el requerimiento Path, no la suma de lo requerido por todos sus receptores. RSVP envía datos de manera unidireccional, es por eso que se requiere que todos los nodos receptores reconozcan y confirmen la petición para establecer la comunicación.

### **2.7.2. Diferenciación de servicios**

En contraste con RSVP, el protocolo de diferenciación de servicios ó "*Diffserv*" es una posibilidad, bastante simple, de asignar prioridades al tráfico que circule en la red IP. Se define en el documento RFC 2475, y lo que hace, es básicamente utilizar un campo de servicio en la trama de Ipv4 denominada "ToS" ó tipo de servicio (*Type of Service*), ó el equivalente para Ipv6 *Traffic Class*, para marcar a un flujo (*Stream*), como especificado para requerir cierto trato dentro de la red.

El método de reenvío requerido por la aplicación VoIP es conocido como “*Per-Hop Behavior*” ó Comportamiento de paquetes por salto (PHB). *Diffserv* define dos tipos de PHBs:

- Reenvío Expedito, EF (de sus siglas en inglés *Expedited Forwarding*)
- Reenvío Asegurado, AF (de sus siglas en inglés *Assured Forwarding*)

EF se define en RFC 3246, y consiste en que cierto bloque de tráfico se le asigna una tasa mínima de salida del nodo, la cual es mayor a la tasa de entrada, siempre y cuando no se exceda de un nivel acordado. EF provee un mecanismo para eliminar retardos de almacenamiento en cola, los cuales son los responsables por el retardo total de los paquetes.

AF se define en RFC 2597, y provee un servicio en el cual los paquetes de una fuente o interfaz en el nodo son reenviados con una alta probabilidad de éxito de transmisión, siempre y cuando el tráfico de esa interfaz ó puerto no exceda un nivel acordado. AF establece un proceso de asignación de tres clases o niveles de disponibilidad, para cada paquete que cruza la interfaz en el nodo. De existir una condición de congestión en el enrutador, los paquetes con la tasa más alta de pérdida se dejarán primero. Precisamente, para que funcione, es necesario que muchos paquetes tengan una alta probabilidad de perderse, para que los paquetes con baja probabilidad sobrevivan, y por supuesto los últimos no serán la mayoría.

Estos dos mecanismos para establecer rutas, utilizan el mismo enfoque de creación de rutas implícitas en la red IP. Existe, sin embargo, otro enfoque para proveer de ingeniería de tráfico a la red, y es el crear rutas virtuales explícitas.

Se basa en agregar suficiente información en el encabezado de los paquetes para establecer una ruta virtual a través de la red, válida para la duración de la conexión en cuestión.

### **2.7.3. Conmutación por etiquetas**

Este mecanismo es considerablemente más rápido que la conmutación y reenvío capa 3, dado a que no es necesario el consultar las tablas de enrutamiento para el envío de los paquetes a su destino. Una vez se establece una ruta, la transmisión de los datos se hace a equivalencia a la conmutación y reenvío en capa 2. Este método dió como resultado la implementación de MPLS, que es una evolución del sistema de conmutación de etiquetas propietario de Cisco. Y el mecanismo es fundamentalmente similar a lo implementado por *Frame Relay* con los identificadores DLCI, y por ATM con VPI/VCI (de sus siglas en inglés *Virtual Path Identifier/Virtual Circuit Identifier*), para el caso de MPLS es el insertar un pequeño campo en el encabezado del paquete L2 para determinar el siguiente salto dentro de la red.

La misión de MPLS es la de recortar los tiempos de conmutación y reenvío, y la de proveer una ingeniería de tráfico a la red IP mediante mecanismos externos y definidos por el usuario como por ejemplo RSVP-TE, que en cierta forma complementan la funcionalidad de MPLS.

El proceso de reenvío es modificado en MPLS, dado a que se introduce el concepto de clases de reenvío equivalente ó FEC, donde todos los paquetes que pertenecen a un grupo FEC son tratados de forma equivalente al momento de hacer un reenvío.

Esto puede ser de gran utilidad al intercambiar paquetes provenientes de dos MG que intercambian tráfico de voz en la red IP.

En la práctica, es común combinar los tres mecanismos. En el caso de RSVP, se cuenta con un potente mecanismo de reserva de recursos, pero las sesiones deben de mantenerse en el trayecto reservado, lo cual introduce costos adicionales de transmisión. *Diffserv* es un mecanismo más sencillo, pero se enfoca más en el método de paquetización más que en proveer reserva de recursos. Finalmente, MPLS es la solución más completa, pero requiere cambios drásticos en la arquitectura de los enrutadores de la red, y puede venir acompañada de un alto precio de implementación.

Otra alternativa en la implementación de RSVP es el implementar extensiones de ingeniería de tráfico (RSVP-TE referido a *Traffic Engineering*), mediante esta extensión se puede implementar RSVP sin la limitante de escalabilidad impuesta por el incremento en el encabezado de la trama, necesario para mantener una cantidad considerable de sesiones activas.

Las técnicas pueden ser utilizadas al mismo tiempo, por ejemplo *Diffserv* se implementa en un dominio, RSVP en otro y es posible enviar una petición de reserva de recursos a una política PHB adecuada en el dominio *Diffserv* para interoperar entre los dos dominios. De la misma manera es posible y conveniente interoperar entre MPLS y los otros protocolos que provean de un esquema de ingeniería de tráfico a la red IP.

Es necesario entonces considerar un espacio de por lo menos 4 octetos más por canal de servicio, requeridos para el transporte de una etiqueta MPLS/G.MPLS.

## 2.8. Cálculo de ancho de banda para VoIP

El ancho de banda requerido por la red para llevar el servicio de voz sobre IP, puede tener cinco componentes:

- Ancho de banda para tráfico de voz y medios
- Ancho de banda para señalización IP
- Ancho de banda para gestión de red y mantenimiento
- Ancho de banda WAN (capa2)
- Ancho de banda encabezado MPLS (si es aplicable)

El ancho de banda requerido para realizar una llamada, no tiene una magnitud fija, y depende de los siguientes factores:

- CODEC utilizado para digitalizar las señales de voz
- Intervalo de paquetización
- Utilización de sistemas de supresión de silencio (VAD)
- Probabilidad de colisiones excesivas en paquetes, si se usa un sistema de supresión de silencio.

### 2.8.1. Ancho de banda del CODEC

Como vimos en el primer capítulo, existen varias técnicas para codificación de voz, por ejemplo G.711 utiliza un ancho de banda de 64kbps para transmitir un canal de voz, mientras G.729 utiliza solamente 8kbps. Por lo que en una muestra de 20ms G.711 genera 1280 *bits* (160 octetos), mientras G.729 genera 160 *bits* (20 octetos).

Tomando en cuenta los CODEC más utilizados, podemos elaborar la lista de tasas de bit para cada opción:

**Tabla V: Tasas de bit para diferentes CODEC (kbps)**

G.711 PCM	64.000
G.726 ADPCM	32.000
G.728 LD-CELP	16.000
G.729 CS-ACELP	8.000
G.723 ACELP	5.300
G.729A/B CS-ACELP*	8.000
G.723.1A ACELP&MQ-CELP	5.300

### 2.8.2. Ancho de banda del encabezado

Dado a que los paquetes de voz se envían utilizando el protocolo RTP, el cual se transporta utilizando UDP, basándonos en una plataforma IP, nuestro encabezado por paquete puede ser bastante robusto. Cada protocolo tiene su propio encabezado, el cual debe ser transportado en conjunto con la voz digitalizada. El total de la longitud de encabezados en el paquete es entonces:

**Tabla VI: Longitud de encabezados para protocolos**

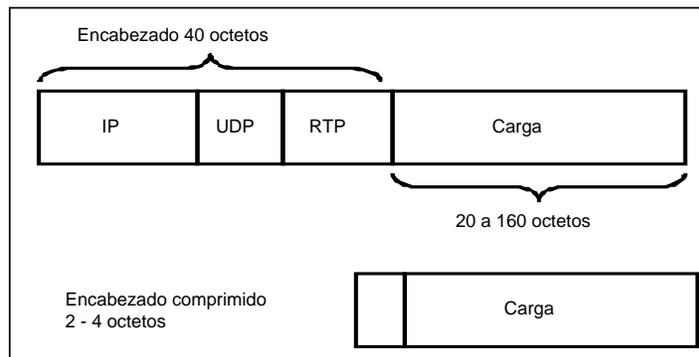
Protocolo	Longitud de encabezado
IP (version 4, sin opciones)	20 octetos
UDP	8 octetos
RTP	12 octetos
TOTAL	40 octetos

Fuente: Daniel Collins. *Carrier Grade VoIP*, P. 464

Por lo tanto, si el sistema CODEC fuese G.729 muestreando en períodos de 20 ms por muestra de 8 bits, el total de la trama sería de 60 octetos ó 480 bits, por lo que el ancho de banda total requerido es de 24kbps. Si hacemos que el período de la muestra disminuya, el tamaño del encabezado permanece igual por lo que, porcentualmente, el encabezado es mayor cuando la muestra es menor.

Existe también la posibilidad de comprimir los encabezados IP/UDP/RTP, de 40 octetos a un rango variable de 2 a 4 octetos utilizando cRTP. En la siguiente figura se ilustra la compresión del encabezado:

**Figura 28: Compresión de encabezado**



Fuente: Jonathan Davidson, J. Peters. *VoIP Fundamentals*, P. 193

El ancho de banda de un canal G.729 se reduce de 24kbps a 11.2kbps, lo cual hace más eficiente el uso de los recursos de transmisión. La compresión de encabezado puede estar presente hasta un 98% del tiempo, sin embargo, se debe enviar una trama del encabezado sin comprimir cada cierto tiempo para verificar el estado de ambos lados de la conexión, esto debe realizarse periódicamente o cuando un campo fijo del encabezado ha cambiado, por ejemplo el tipo de tráfico transportado.

La compresión de encabezado, es una forma de ahorro de ancho de banda que puede utilizarse cuando el ancho de banda es escaso, o en casos donde el ancho de banda es caro, como por ejemplo en una topología satelital.

En enlaces de ancho de banda considerable, la mayoría de fabricantes, no recomiendan utilizar compresión de encabezados ya que con esta función, los microprocesadores de los enrutadores se utilizan más por lo que puede experimentar problemas a la hora de ejecutar otras tareas. Es una buena práctica que los CPU de los enrutadores trabajen entre el 60 y 70% de su capacidad para que la red funcione sin problemas de estancamiento.

Una alternativa a utilizar compresión de encabezados es la de mandar más tramas de voz por paquete para enviar menos encabezado en relación al tráfico efectivo enviado. Esto es particularmente efectivo en enlaces satelitales, y el sistema a adquirir debe contar con esta funcionalidad. Por ejemplo en un sistema operando con G.729 se envían 2 tramas de voz por paquete, pero es posible enviar 4, claro pagando el precio con retardo adicional de 20ms en estos casos.

Al ancho de banda calculado hace falta sumarle una componente de encabezado de la red WAN. Típicamente se utiliza PPP el cual introduce un encabezado de 2 octetos, a esto le sumamos 4 octetos más para incluir el encabezado del protocolo de calidad de servicio, que se expuso en la sección anterior, por lo que el estimado de la longitud del paquete será entonces 66 octetos que equivalen a 26.4 kbps.

### **2.8.3. Optimización con sistemas VAD**

La optimización con sistemas de supresión de silencios, (VAD), es una herramienta muy útil para ahorrar ancho de banda en la red de transmisión. Es normal asumir un factor de actividad de voz del 40%, es decir que en una conversación normal entre dos personas, existen períodos de silencio que equivalen al 60% del tiempo total de la conversación.

Durante los períodos de silencio, el sistema VAD genera tramas de descripción de silencio que tienen un tamaño mucho más reducido que una trama de voz normal. El período de tiempo entre tramas SID es mucho más largo, que la duración de las mismas, por lo tanto el ancho de banda ocupado puede ser despreciable.

### **2.8.4. Efecto de usuarios concurrentes**

Lo establecido en la sección anterior es válido para situaciones donde solo existe un usuario. Sería tentador pretender diseñar una red de voz, en la cual calculemos el ancho de banda y multipliquemos por el 40% para dar un dato realista del requerimiento real de ancho de banda, lastimosamente, esto no puede asumirse así y debemos tomar en cuenta el efecto de otros usuarios en la red, que también utilizan los recursos de transmisión.

Entonces, lo que hace falta es saber cuánto ancho de banda extra necesitamos para acomodar a todos los usuarios. Dicha respuesta puede encontrarse al desarrollar la función de distribución binomial. Si consideramos que existen “n” suscriptores, la probabilidad de que “x” número de suscriptores estén hablando al mismo tiempo viene dada por la siguiente ecuación:

$$Pa(x) = \binom{n}{x} p^x (1 - p)^{n-x}$$

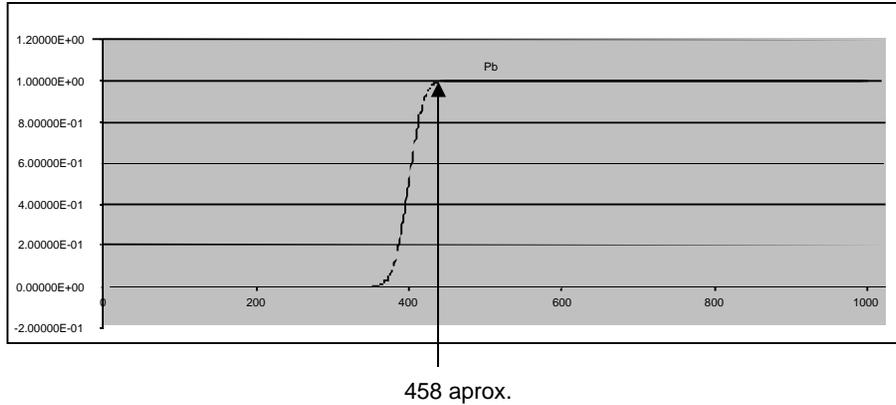
Donde  $p = 0.4$  (probabilidad de habla en la conversación)

Entonces la probabilidad de que no hayan más de “x” suscriptores hablando en un tiempo determinado está dada por:

$$Pb(x) = \sum_{y=0}^x Pa(y)$$

El objetivo es buscar entonces el valor de “x” para que la probabilidad sea lo suficientemente alta como para asumir que no habrán más suscriptores hablando al mismo tiempo, por ejemplo una  $Pb$  de 0.999. Sumamos entonces los  $Pa(0) + Pa(1) + Pa(2) + \dots$  hasta que el total sea o exceda 0.999. Por ejemplo si requerimos que nuestra red pueda manejar hasta 1000 llamadas simultáneas, y el factor VAD es del 40%, necesitamos que la probabilidad de que se pierdan paquetes sea igual o menor a 0.1, entonces valuando la función obtenemos un valor de “x” de 448 a 458 de 1000 usuarios posibles. Esto implica que el dimensionamiento de la red puede considerar 448 usuarios en cualquier dirección por cada 1000 usuarios conectados. A continuación se ilustra la gráfica de  $Pb$  que nos ayuda a describir mejor este comportamiento:

**Figura 29: Efecto de suscriptores concurrentes utilizando VAD**



### **2.8.5. Ancho de banda para control y señalización**

Como sabemos, el ancho de banda total cuenta con una componente destinada para tráfico de control y señalización. En general el tráfico de voz se distribuye entre MG y MG, como vimos el tamaño del paquete más encabezados utilizando IP/UDP/RTP más protocolo WAN y QoS es de 66 octetos a esto hace falta agregarle un componente de control entre MGs, utilizando RTCP (de sus siglas en inglés *RTP Control Protocol*), la magnitud de dicha componente es de aproximadamente 5% del ancho de banda disponible para el canal. Entonces, el tamaño calculado de 66 octetos (26.4 kbps), se multiplica por 1.05 resultando de **27.72 kbps**.

El tráfico que existe entre MG a MGC cuenta con una fuerte componente de señalización y control. Se puede considerar el mismo factor de utilización que se consideró para RTCP entre MGs, sin embargo, el ancho de banda entre MG y MGC está activo para todas las llamadas, lleven o no señal de audio en ellas.

La componente de señalización entre MGCs y SGs se puede considerar igual al caso entre MGCs y MGs. Para el caso de la señalización es necesario también considerar el número de enlaces C7 entre las SG y los STP de la red a la que nos estamos conectando. Para preservar el esquema adaptado por C7, en el cual se cuentan con múltiples puntos de transferencia de señalización, se considera la necesidad de 2 SGs que actúan para la red C7 como STPs en una topología familiar para la PSTN. Esto se requiere para darle mayor robustez a la red en caso de que cualquier enlace falle, o incluso, que uno de los SGs ó STPs de la PSTN falle totalmente.

Como regla general para el diseño de enlaces de señalización, se deben dimensionar para funcionar a un 40% de su capacidad máxima durante la operación normal, dado a que si perdemos uno de los enlaces de señalización, otro enlace lo pueda sustituir utilizando no más del 80% de su capacidad.

De acuerdo con lo establecido por la documentación de C7, cada enlace puede manejar los datos de hasta 30 llamadas por segundo, lo que equivale a 100,000 BHCA, ó intentos de llamada en hora cargada, en términos de tráfico real. Esto ayudará a calcular el número de enlaces C7 que requerimos para nuestra red.

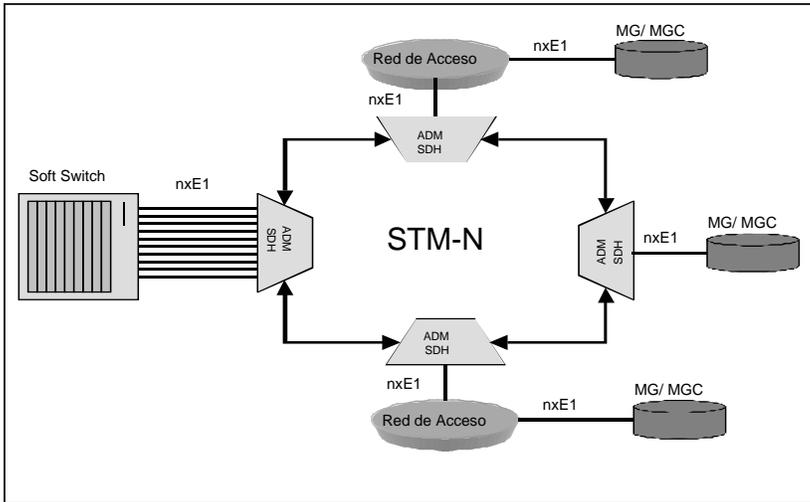
## **2.9. Red de transporte**

La red de transporte es la encargada de llevar el tráfico de más alta jerarquía entre los puntos de presencia principales y entre los sistemas de conmutación. Típicamente, la red de transporte se construye de elementos de red SDH / SONET los cuales gozan de una alta confiabilidad, y disponibilidad, características necesarias por el simple hecho que un corte de comunicación a este nivel ocasionaría degradación a gran escala de una gran cantidad de facilidades de transmisión.

Los servicios de voz sobre IP compartirán la red de transporte con otros servicios de voz y datos, y es a través de esta que, por lo general, se conectará la red pública de telefonía a través de interfaces E1. La red de transporte es totalmente transparente a cualquier protocolo IP que se implemente.

En contraste con la utilización de interfaces E1 convencionales para la distribución de los servicios, la red de transporte puede proveer interfaces de nueva generación directamente desde los nodos del Backbone. La topología típica de transporte se ilustra a continuación:

**Figura 30: Red de transporte SDH tradicional**



En el diagrama anterior el transporte se hace a nivel de TU-12 dentro de la jerarquía SDH (G.707), aunque puede ser realizada también a nivel de TU-3 en el caso que se requiera la interconexión entre varias interfaces E3 ó DS3. Esta es la forma más común de derivar servicios de una red de transporte hacia una red de transmisión en el acceso, o directamente hacia el punto de interconexión del servicio.

Actualmente es posible entregar servicios de N contenedores virtuales SDH directamente en interfaces *Ethernet* mapeadas sobre SDH. Esto ayuda a simplificar el diseño de la red sin interfaces intermedias entre la red SDH y la red IP. Existen dos alternativas para la provisión de servicios Ethernet sobre SDH:

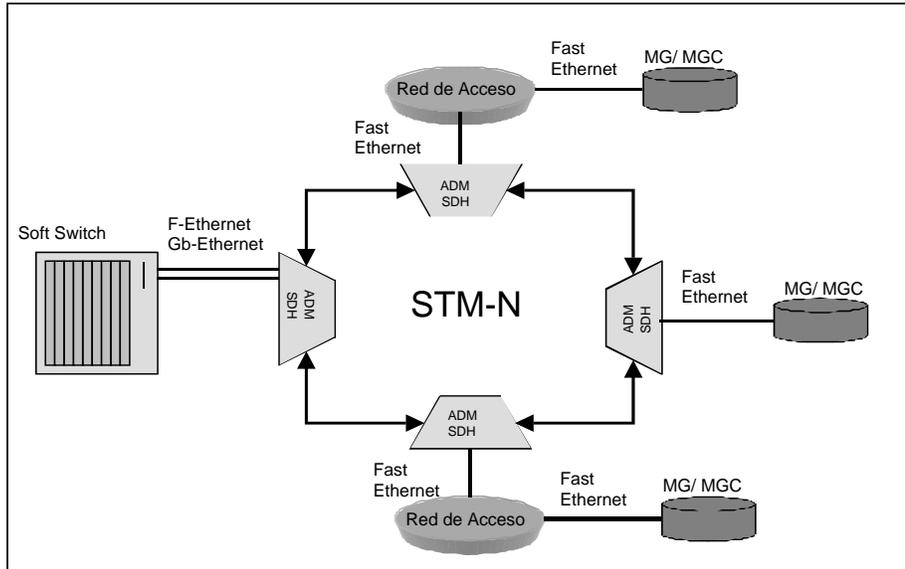
- Interfaces Mapeadas sobre SDH (punto a punto en Capa1)
- Interfaces Mapeadas y conmutadas sobre SDH (punto a multi-punto en

Capa2)

Al utilizar la primera alternativa, el sistema SDH no tiene conciencia de los servicios Ethernet que transporta, solamente son interfaces VC-N que se entregan en una interfaz física, la topología de los servicios entregados de esta forma es punto a punto.

Si se utiliza la segunda alternativa el sistema tiene conciencia de la agrupación de servicios de N puntos de presencia en un solo sitio. La jerarquía de las interfaces en esta alternativa podría ser de interfaces FE (de sus siglas en inglés *Fast Ethernet*) en los sitios remotos, y una o varias interfaces GbE (de sus siglas en inglés *Gigabit Ethernet*) para el sitio central en donde se instalará el conmutador principal. A continuación se ilustra el concepto en la siguiente figura:

**Figura 31: Red de transporte SDH con interfaces *Ethernet* aplicada a VoIP**



Por supuesto que el implementar una red desde “cero” , que esté basada en transporte IP ya sea utilizando medios de creación de rutas implícitas ó rutas virtuales explícitas, llevaría a un gasto significativo en el área de transmisión no solo en la compra de equipo especializado, sino en el costo de implementación y entrenamiento del personal operativo existente e implementación de nuevos procedimientos. Dadas estas circunstancias, suena atractivo aprovechar las bondades de dichos sistemas, implementando interfaces y métodos apropiados para el transporte de paquetes a través de una red existente SDH/SONET. La alternativa más apoyada por la industria es GMPLS, la cual se implementa en los equipos de transporte, crosconexión y multiplexación SDH/SONET el cual posee evidentes ventajas en relación a un sistema de transmisión convencional que cuenta con múltiples capas (por ejemplo, SDH / ATM / *Frame Relay* / *Ethernet*).

Tanto MPLS como GMPLS son conjuntos de protocolos de enrutamiento estáticos que deben funcionar en conjunción con herramientas independientes como *Diffserv* y RSVP para poder proveer de ingeniería de tráfico a la red IP. Por ejemplo es necesario utilizar *Diffserv* para determinar que el tráfico que pase por un LSP, se clasifica como tráfico de voz, datos mediante bits que declaren el tipo de trafico, pero aún los estándares se están desarrollando para que una solución GMPLS+*Diffserv* pueda determinar el tipo de servicio del tráfico que transportan sus rutas virtuales o LSPs. Más importante todavía es la actual inhabilidad de MPLS + *Diffserv* u otro mecanismo de no corregir ó reenrutar un servicio en caso de degradación. MPLS puede asignar un LSP dedicado para el transporte de un servicio, pero esto no es garantía de que el ancho de banda asignado esté disponible, es por eso que se requiere también RSVP, y es basado en la necesidad de reservar cierto ancho de banda estático para completar la ruta en la red IP.

## 2.10. Capa de acceso y última milla

La red de acceso, es la encargada de la transmisión de los servicios desde el primer punto de presencia hacia el punto final de distribución del servicio. La red de acceso se vale de varios medios de transmisión para llegar desde los puntos de presencia principales hasta los puntos de terminación de los servicios, puede utilizar medios inalámbricos, ópticos y eléctricos.

En redes que se extienden fuera del perímetro metropolitano, es común que se empleen medios inalámbricos para cubrir grandes distancias con el mínimo de infraestructura, aunque dado que los medios ópticos han probado ser los más confiables, las redes de fibra óptica se están expandiendo gradualmente desde los centros metropolitanos a las áreas rurales para poder brindar los servicios de interconexión sin las limitaciones de ancho de banda y redundancia que pueden ser un factor limitante en redes inalámbricas, aunque el costo involucrado en el llevar servicios ópticos a comunidades remotas puede ser razón suficiente para dejar de considerar medios ópticos, por lo menos, para la capa de acceso al punto final de concentración y de acceso a clientes.

Las alternativas para establecer la comunicación entre los puntos de presencia y los equipos terminales pueden ser:

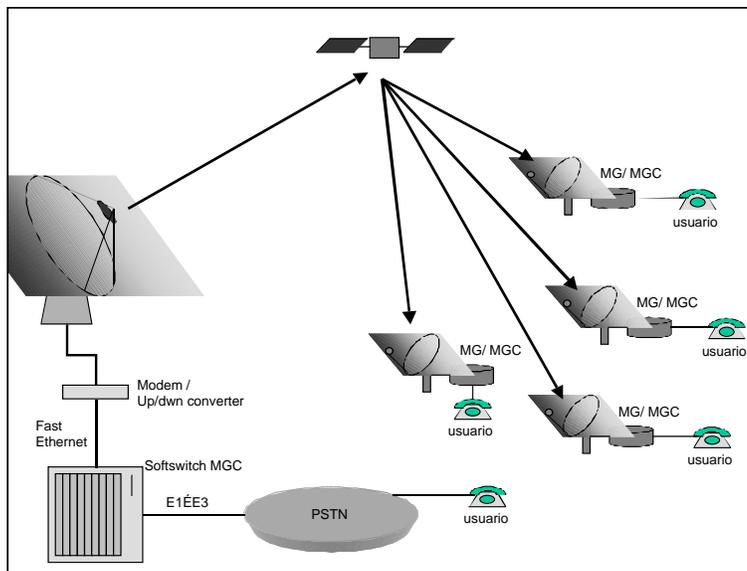
- Estaciones satelitales
- Repetidores utilizando tecnología inalámbrica de espectro compartido (DSSS ó FHSS), utilizando radios de largo alcance utilizando tecnología 802.11x en bandas de 2.4 y/o 5 GHz.
- Redes PLC (*Power line carrier*) utilizando la infraestructura de distribución eléctrica

Aunque no es el propósito de este trabajo el explorar todas las alternativas para la red de transmisión de acceso al cliente, es conveniente tener presente las opciones más comunes.

A continuación se presentan las topologías de transmisión que es posible implementar, aunque hay muchas más opciones, se presentan las más comunes. La implementación de una solución práctica emplearía una mezcla de varias tecnologías para lograr el propósito fundamental de llegar hasta las comunidades rurales más aisladas.

- Solución con sistemas satelitales:

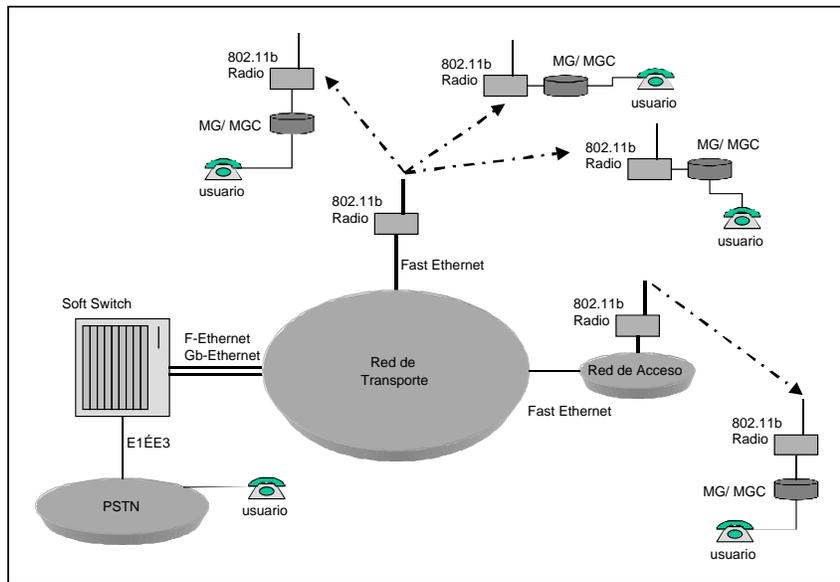
**Figura 32: Topología de acceso satelital**



En la solución satelital se utilizan enlaces bidireccionales simétricos para llevar los canales de audio a través de interfaces seriales V.35, V.24 ó , utilizando sesiones PPP, HDLC y/o *Frame Relay*. Otra alternativa es utilizar interfaces *Ethernet* en las estaciones remotas, pero esto introduce un mayor encabezado, lo que reduce la eficiencia de la red de transmisión, especialmente en enlaces satelitales cuyo ancho de banda representa una inversión monetaria considerable.

- Solución con repetidores 802.11x

**Figura 33: Topología de acceso 802.11x**



En la solución 802.11x se utilizan repetidores en topología punto a multipunto con enlaces inalámbricos entre los puntos de presencia principales que dependen de la red de transporte y los puntos de distribución finales. Los sistemas de modulación más comunes para aplicaciones de este tipo son DSSS, pero su tener cierto impacto en la eficiencia de transmisión y rango de cobertura de los radios.

Como alternativa, es posible también implementar FHSS, lo que permite transmisión más eficiente, aunque permitiendo tasas de bit más reducidas. También, es necesario tomar en cuenta que los sistemas FHSS gozan de mayor popularidad entre los fabricantes de equipos inalámbricos. En general, los criterios más importantes a la hora de optar por una solución inalámbrica son los siguientes:

- Selección de antena de estación base, omnidireccional o de cobertura sectorial (por celdas) para la cobertura punto a multipunto de usuarios finales.
- Selección de antena directiva, paraboidal o tipo Yagui para interconexión de puntos de presencia.
- Considerar un radio mínimo de cobertura de estaciones base de acuerdo con las necesidades de la comunidad. Estableciendo un margen de atenuación permisible (típicamente 25 dB).
- Considerar la altura de instalación de las antenas de la estación base.
- Considerar un factor de curvatura de terreno K

Para seleccionar el tipo de antena de estación base, es necesario considerar su ganancia. En el caso de una antena omnidireccional, la misma puede estar diseñada para minimizar la radiación en ciertas direcciones ( +/- 90° de elevación) y maximizar en otras, por lo que se le atribuye una cierta directividad. La directividad de la antena está expresada en dBi ó decibeles sobre la isotrópica, la ganancia de la antena es función de su directividad menos algunas pérdidas internas. Las gráficas de directividad son provistas por muchos fabricantes, y es decisión del ingeniero de transmisión, la utilización de determinado tipo de antena para determinada aplicación.

La topología final, puede seguir las descripciones anteriores, aunque en una red real, la topología sea una mezcla de transporte óptico, acceso inalámbrico y satelital, de hecho la topología satelital se recomienda más para el acceso a lugares remotos donde no hay infraestructura de red como existe en el área metropolitana.

## **2.11. Equipo de cliente y terminales VoIP**

Los equipos terminales deben ser lo más simples posibles para bajar los costos. Hay tres alternativas para la provisión de los equipos terminales:

- Equipos de telefonía convencional conectado a un MG con puerto FXS.
- Equipos de telefonía IP conectado a la red IP directamente.
- *Software "Soft Phone"* instalado en una PC convencional conectada a la red IP directamente.

Los equipos de telefonía convencional son considerablemente más baratos que el resto de opciones, es por eso que se puede decir que es más conveniente para la implementación masiva de servicios de telefonía, aunque requieren la implementación de la planta externa de cobre para interconectar usuarios. Los teléfonos IP tienen varias ventajas que se aprovechan mejor en un ambiente corporativo que en un ambiente rural, como por ejemplo, servicios de identificador de llamada, asociación de un número de extensión a una dirección IP, etc.

La opción de equipo terminal *softphone* implica la instalación de una PC en el sitio, si al valor de la PC se le suman los costos de energía y requerimientos de protección contra sobre-voltajes y/o interrupción del servicio de energía, el costo se eleva mucho más que las opciones anteriores, pero puede ser deseable para comunidades donde también sea necesario contar con servicios de interconexión a Internet.

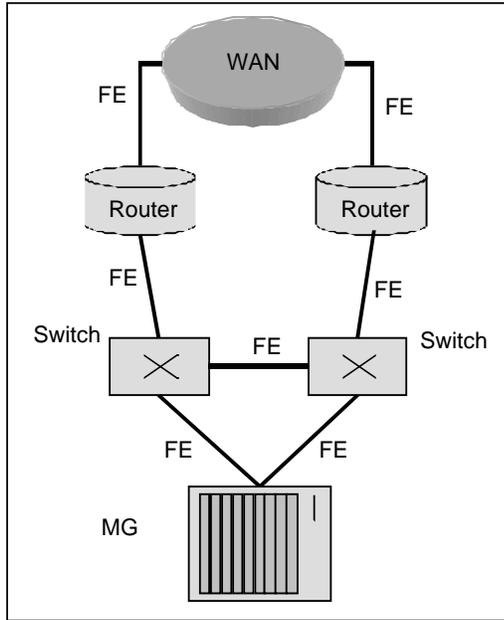
## **2.12. Interfaces y conectividad**

Las interfaces a utilizar, deben determinarse de acuerdo con la demanda de tráfico para cada nodo de la topología final. En el capítulo 4, construiremos las tablas de estimación de tráfico, y presentaremos una topología de ejemplo para aplicar tales tablas de estimación.

En general, todos los elementos de la red VoIP tendrán interfaces E1, E3, DS3, ó *Ethernet* (a 10Mbps), FE (*Fast Ethernet*, 100 Mbps), y GbE (*Gigabit Ethernet* 1000 Mbps), dependiendo de su función dentro de la red, una interfaz de alta velocidad puede manejar altas prestaciones en su encabezado, como es el caso de interfaces FE, GbE e incluso SDH/SONET; en el caso de interfaces terminales, donde el ancho de banda se ve restringido por los escasos medios de transmisión no es posible utilizar sofisticadas interfaces con grandes encabezados, en su lugar deben adoptarse medios seriales y/o interfaces de transmisión con asignación dinámica de ancho de banda.

Es muy probable que el MGC principal o *Softswitch* cuente con una interfaz GbE hacia la red de transmisión para la interconexión de los diferentes elementos de red, e interfaces E1 hacia la PSTN. De manera general, la conexión de los MG, MGC, SG, a la red IP, se debe realizar de manera robusta, es decir utilizando rutas y dispositivos redundantes para su interconexión. A continuación se expone una forma adecuada de interconectar un MG en la red, hay que recordar que nuestra red como competencia de la PSTN debe cumplir con un 99.999% de disponibilidad lo que implica la conexión de hardware y enlaces redundantes:

**Figura 34: Conexiones seguras para MG/MGCs**



**Fuente: Daniel Collins. Carrier Grade VoIP, P. 472**

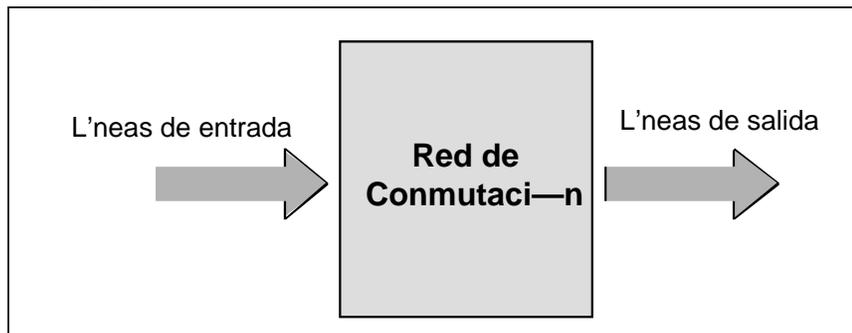
De manera similar, si la interconexión se hace utilizando equipo SDH, con interfaces *Ethernet*, los servicios de interconexión se deben provisionar como se expone en la figura anterior.

### 3. CONSIDERACIONES DEL SISTEMA DE CONMUTACIÓN

#### 3.1. Generalidades

De manera general, la red de conmutación es la responsable de establecer y mantener los enlaces entre las líneas de entrada y las de salida en el sistema telefónico. Las líneas de entrada conducen la demanda de tráfico en la red y las líneas de salida retransmiten la demanda hacia otras redes. Se dice entonces que una línea de salida está ocupada cuando una línea de entrada está conectada a la misma.

**Fig 35: Modelo simplificado de la red de conmutación**



El tráfico telefónico puede ser clasificado como tráfico transportado (*Carried Traffic*) y como tráfico ofrecido (*Offered Traffic*). El tráfico transportado es el que nuestra red de transmisión puede llevar en las facilidades de transmisión y agregados. El tráfico ofrecido es la diferencia del tráfico transportado y el tráfico perdido o bolqueado.

El tráfico de telefonía se dimensiona en unidades denominadas CCS (Cientos de llamadas – Segundo, y es una tasa de tráfico dada por el producto del número de llamadas  $\lambda$  realizadas en un período de tiempo definido por la duración promedio de todas las llamadas de ese período, así:

$$\rho = \lambda h \text{ (Ec. 3-1)}$$

Donde

$\lambda$  = número de llamadas (N/ T, donde T es el período)

h = duración promedio de llamadas (T de la llamada / N)

$\rho$  = Intensidad de tráfico

La dimensional de tiempo utilizada por  $\lambda$  y h es la misma.

La intensidad de tráfico se expresa en unidades adimensionales, por lo general se utiliza el Erlang que expresa un promedio de la cantidad de ocupaciones simultáneas existentes. Por lo que una línea ocupada en cualquier momento equivale a una intensidad de 1 Erl. Como veremos, existen hoy día mecanismos como VAD que dan un nuevo significado al cálculo de la intensidad de tráfico.

### **3.2. Requerimientos generales de la red de conmutación**

En términos generales , el dimensionamiento de un grupo de líneas de salida del sistema de conmutación, debe observar los siguientes criterios:

- La modalidad de atención de tráfico: Pueden trabajar en forma de pérdida o como un sistema de espera.
- La accesibilidad y tipo de mezcla que maneja la red de conmutación.
- La Clase de tráfico y sus propiedades estadísticas.
- La Calidad de tráfico que se ofrece, que indica el nivel de pérdida ó de datos en espera.

El sistema de VoIP debe poseer las propiedades para adaptarse a estos criterios para poder ofrecer un servicio que compita de manera eficiente con un sistema convencional. A continuación se describen estas propiedades:

#### **3.2.1. Propiedades de la red de conmutación**

##### **3.2.1.1. Modalidad de atención de tráfico**

Existen dos alternativas o modos de operación en una red de conmutación:

- Sistema de pérdidas.
- Sistemas de espera.

En el sistema de pérdidas se rechaza una nueva conexión si no se puede establecer inmediatamente, es decir, si no hay una línea de salida disponible en ese momento. En el sistema de espera la conexión puede demorarse al encontrar una situación de bloqueo. Existen también sistemas mixtos donde se permite un tiempo limitado de espera de no encontrar un canal libre inmediatamente.

### **3.2.1.2. Accesibilidad**

Comprende la cantidad de líneas de salida de las cuales puede determinarse si están libres o bloqueadas. Se dice que si un sistema posee un mismo nivel de accesibilidad en el tiempo, entonces el sistema es de accesibilidad constante, si no es de accesibilidad variable. De ser constante e igual al valor del número de líneas de salida se llama de accesibilidad completa, cuando es menor al número de líneas de salida se llama de accesibilidad limitada.

### **3.2.1.3. Mezcla**

En sistemas de accesibilidad limitada, las líneas de entrada forman subgrupos de entrada, donde todas las líneas de entrada se interconectan siempre con las mismas líneas de salida. Las interconexiones del sistema se hacen de tal forma que todos los grupos de entrada pueden ayudarse entre sí.

### **3.2.2. Propiedades del tráfico ofrecido**

#### **3.2.2.1. Hora Cargada**

Dada la naturaleza del tráfico telefónico, la ocupación de las líneas de salida fluctúa permanentemente, teniendo sin embargo, tendencias al incremento en el tiempo por temporadas o épocas del año. Las fluctuaciones de llamadas se dan de manera más evidente durante el día.

Para el dimensionamiento del conmutador y de la red de transmisión se debe tomar en cuenta las horas de mayor carga del día más un porcentaje extra para crecimiento. La hora cargada es, de acuerdo con la UIT-T los 60 minutos que en promedio en varios días hábiles, resultan los más cargados. La medición de la hora cargada se realiza en períodos de 15 minutos.

#### **3.2.2.2. Calidad de tráfico**

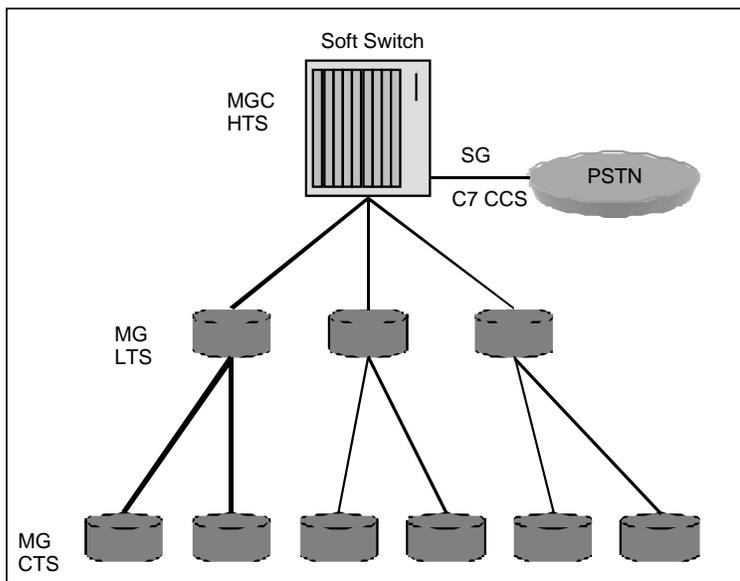
El parámetro de calidad de tráfico es el grado de servicio ofrecido para atender a las fuentes de tráfico. De esto depende el equipamiento de las centrales y el número de líneas disponibles. En los sistemas de pérdidas, el grado de calidad queda determinado por la probabilidad de rechazo por ocupación de un canal. En sistemas de espera se consideran los tiempos de espera media de canales demorados (twd) que es el tiempo que el usuario debe esperar hasta hallar un canal disponible para su utilización; el tiempo de espera de canales ofrecidos (two); la probabilidad de sobrepasar un tiempo preestablecido de espera ( $P(>t)$ ); y la probabilidad de espera que representa el porcentaje de ocupaciones ofrecidas no atendidas inmediatamente.

### 3.2.3. Topología de la red de conmutación

Puede adoptar un modelo de jerarquías similar al utilizado por las centrales *Tandem* convencionales, en donde el *Softswitch* ocupará el papel de HTS, y las MGCs de los puntos de presencia remotos actuarán como LTS ó CTS.

La topología expuesta en la figura 1-1 se repite para el caso de una red VoIP general, los HTS se sustituyen por los MGCs o *SoftSwitch* los elementos de red de mayor jerarquía, los cuales, en muchos casos, llevan a cabo la función de interoperación con la PSTN. Las LTS y CTS son los mismos elementos de red, solo que distribuidos y controlados por el protocolo controlador de la señalización utilizada.

**Figura 36: Topología general de conmutación VoIP**



### **3.3. Arquitectura del *Softswitch***

#### **3.3.1. Consideraciones de señalización**

Para implementar una solución de VoIP que compita con los métodos tradicionales de servicios. Es importante decidir la arquitectura a implementar, si será una arquitectura H.323 pura, ó una basada en *Softswitch*. La arquitectura del *Softswitch* se ha convertido en la más aceptada a nivel mundial, se cuenta ya con grupos de trabajo del IETF y otras organizaciones para la implementación de soluciones usando esta arquitectura, y existe mayor soporte para estas soluciones que para otras más puntuales.

En el momento que optamos por una arquitectura de *Softswitch*, hay ciertas consideraciones de la red de señalización que debemos tomar al diseñar la solución. De hecho una arquitectura basada en *Softswitch*, implementa mecanismos de control en los MGCs propios de protocolos como MGCP y MEGACO, al mismo tiempo que utiliza herramientas SIP y SIGTRAN para el transporte entre MGCs y conversión de señalización de la PSTN hacia la red VoIP, desde este punto de vista, la arquitectura del *Softswitch* es bastante más complicada que H.323, pero por razones de escalabilidad y de soporte actual de la industria, se escogerá una solución basada en MGCP/MEGACO para los enlaces entre los MGCs y MGs y SIP entre MGCs. Las puertas de señalización SGs podrán ser implementadas por aparte ó como parte de las MGCs, utilizando M3UA sobre SCTP.

### **3.3.2. Equipamiento y topología**

En la arquitectura de una solución VoIP con *Softswitch*, es necesario dimensionar el número de líneas de entrada contra el número de líneas de salida basándonos en estadísticas de tráfico y demanda del mercado que se quiere trabajar con la red. Es necesario saber si se utilizarán puertos de señalización (SGs) externos utilizando SIGTRAN, o si se implementarán MGCs que soporten esta funcionalidad.

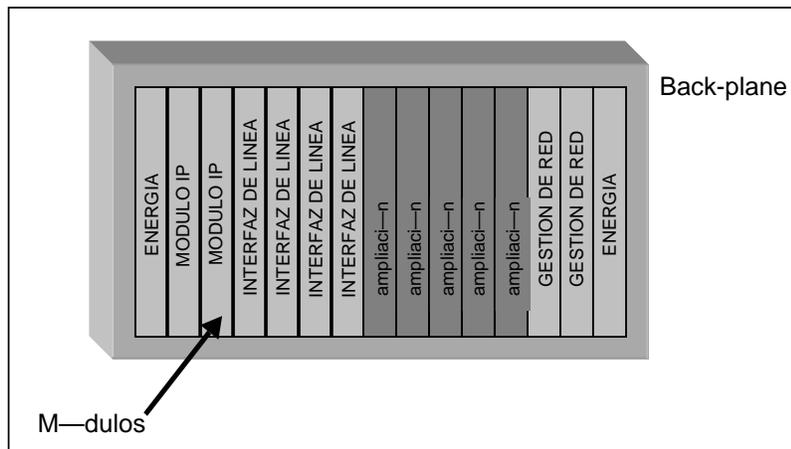
Todo esto depende de la disponibilidad del proveedor de equipo, del precio y condiciones comerciales para la procura de la solución, no puede seleccionarse un proveedor que no tenga la solvencia comercial ni la experiencia para efectuar sus funciones adecuadamente. Cada proveedor debe demostrar la interoperación de sus equipos en proyectos anteriores.

Para poder elaborar un RFI y RFP a un proveedor se debe tener claro el equipamiento requerido para cumplir con la demanda proyectada teniendo en cuenta un porcentaje de capacidad excedente para soportar ampliaciones futuras a corto y mediano plazo. Adicional a estos requerimientos, existen los relacionados con la disponibilidad de servicio de los elementos de red, como la redundancia en equipamiento del nodo, mecanismos de respaldo de configuraciones, etc. Para garantizar la disponibilidad de servicio en los nodos se debe ofrecer las siguientes clases de redundancia:

- Redundancia N+1 en componentes internos.
- Redundancia N+1 en componentes de gestión de red.
- Redundancia N+1 en interfaces de medios (ópticas y eléctricas).
- Redundancia N+1 en fuentes de poder de CA y CD.
- Redundancia N+1 en sistemas de enfriamiento y aire forzado.
- Redundancia N+1 en sistemas de almacenamiento como tarjetas “Flash” y/o Discos Duros.

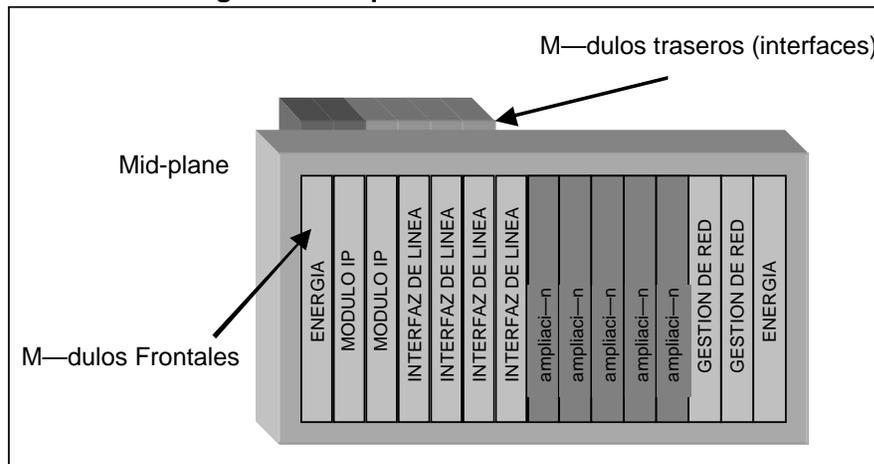
Un MG básico puede basarse en un diseño con “*backplane*”, y tarjetas insertables en la parte delantera y módulos insertables en las mismas tarjetas, ó en un diseño con “*midplane*” donde las tarjetas de energía y gestión se insertan en la parte delantera y los módulos con interfaces físicas en la parte trasera, entonces las tarjetas que procesan datos son diferentes que las que proveen la interfaz al mundo exterior, en este sentido es preferible un diseño de “*midplane*” a uno de “*backplane*” puesto que en este, las tarjetas desempeñan todas las funciones.

**Figura 37: Arquitectura de *Backplane***



Fuente: Daniel Collins. *Carrier Grade VoIP*, P. 447

**Figura 38: Arquitectura basada en Mid-Plane**



Fuente: Daniel Collins. *Carrier Grade VoIP*, P. 447

Las tarjetas de interfaz de línea deben manejar las funciones de administración de medios como los DSP necesarios para los CODEC, cancelación de eco, e interfaces físicas (*Ethernet*, PDH, SDH, etc).

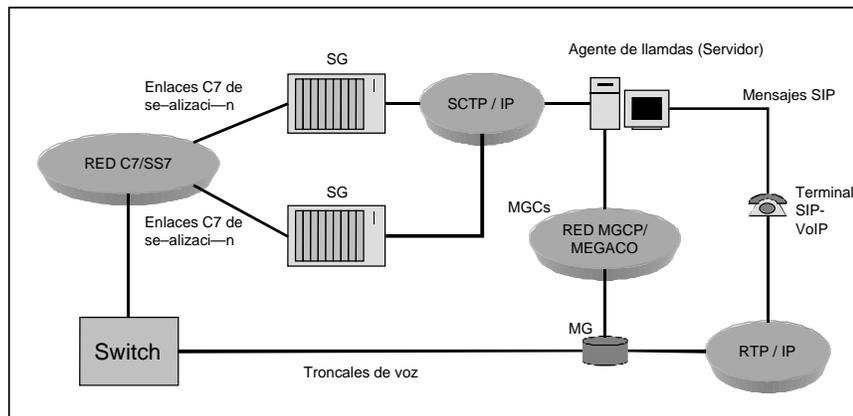
### 3.3.3. Interoperabilidad

Debemos decidir si se utilizará MGCP ó el nuevo estándar MEGACO para la solución de señalización en la red. Nuestra solución deberá, preferentemente, soportar MEGACO ya que es la más avanzada y muy probablemente será la que domine en el futuro. Definitivamente, nuestro sistema deberá soportar, por lo menos, la señalización C7 para interoperar con la PSTN. Es posible que la mejor oferta pueda implementar MEGACO, pero no de manera inmediata, por lo cual ofrezca una solución MGCP temporal en el tiempo que se desarrolla una solución óptima.

Es aconsejable establecer un acuerdo de compromiso con el fabricante para que toda funcionalidad requerida, y actualmente no soportada, se implemente en un período de tiempo razonable.

El modelo de capas de C7/SS7 se presta para la interoperación con la arquitectura del *softswitch* VoIP. Los puntos de interconexión con la red PSTN se realizan en los SG de la red. Se contempla el uso de por lo menos dos SG en la red cuya función será la de terminar los enlaces C7, y reenviarlos hacia las aplicaciones residentes en los MGCs. Como vimos en la sección 1.16.3, MGCP/MEGACO utiliza las prestaciones de SIP para manejar la interoperabilidad con la PSTN. También utilizaremos el protocolo SIGTRAN SCTP para el transporte de la señalización C7/SS7 como alternativa a TCP, dadas las características expuestas en la sección 2.5 y esquematizadas en la “Figura 17: Protocolo SCTP esquematizado”. La solución de interoperabilidad se expone en detalle en la siguiente figura:

**Figura 39: Interoperabilidad de la arquitectura del Softswitch y C7**



**Fuente: Daniel Collins. Carrier Grade VoIP, P. 370**

En la figura anterior se muestra la vista de los elementos de red que conforman la fusión entre C7 y MGCP/MEGACO. El mecanismo de transporte de mensajes de MGCP/MEGACO y SIP puede ser TCP, UDP ó SCTP.

SCTP utiliza dichos módulos de adaptación para recolectar la información de C7 y presentarla al MGC, el cual utiliza dicha información para enrutar las llamadas en la red IP a los puntos de terminación adecuados. Los protocolos C7 deben ser adaptados a un formato VoIP, en este caso el protocolo ISUP de C7 es mapeado a SIP para que sea entendible por los MGCs.

El proceso de mapeo de ISUP a SIP funciona bien si las llamadas van de un nodo VoIP hacia un nodo de la PSTN, puede existir, sin embargo, algunos problemas si la red VoIP sirve de transporte para terminar servicios de PSTN a PSTN, debido a que no todos los mensajes de C7 pueden ser emulados por SIP, de hecho hay servicios ISUP que no tienen equivalencia SIP, y tienen que ser descartados. En el caso que existan mensajes ISUP que necesiten pasar “transparentemente” en la red VoIP, SIP puede habilitar el cuerpo de sus mensajes para encapsular el mensaje, sin supervisión de los nodos VoIP intermedios.

La interoperabilidad debe funcionar tanto a nivel de señalización, como a nivel de CODEC. Cuando la red VoIP en cuestión se conecte con otras redes y otros dominios VoIP, donde existirán puertas de enlace intermedias, MGs, etc., el sistema debe estar en condición de negociar con la otra red el tipo de CODEC que esta utilice, a este proceso se le denomina “transcodificación” . Si por ejemplo nuestro dominio utiliza un CODEC G.729 y nos queremos conectar a una red que utilice G.711, entonces el nodo de interconexión debe negociar el proceso de transcodificación.

Hay que tener en cuenta que este proceso, puede tener efectos negativos en la calidad de voz, dado a que el espectro de frecuencias de la señal es alterado lo cual puede ser percibido por un ligero cambio de timbre de voz cuando se transcodifica una señal de un CODEC híbrido (como G.729) a un CODEC de forma de onda (como G.711).

#### **3.3.4. Gestión de elementos**

El sistema de gestión debe tener la capacidad de administrar todos los elementos como MGCs, MGs, SGs, y aquí es posible que encontremos alguna dificultad en cuanto a la integración de diferentes marcas de equipo, las cuales pueden requerir un sistema de gestión distinto. Para dar una pronta respuesta a situaciones de falla, o simplemente para optimizar los procedimientos de mantenimiento, se recomienda contar con un sistema de gestión unificado, el cual es posible implementar solo cuando todos los elementos de red son de un mismo proveedor, por lo general.

La interfaz más común para los elementos de red es SNMP version 2 ó más actual. Es deseable que a parte de un sistemas de manejo de elementos de red, como SNMP, se cuente con un sistema de manejo de red NMS. El sistema de gestión de elementos EMS debe poder exportar, las alarmas, estadísticas y datos de configuración al NMS (concepto conocido como "*Northbound Interface*", utilizando SNMP, ó CORBA).

### 3.4. Implementación de MEGACO / MGCP

Como vimos en la sección 1.16.3, el primer protocolo desarrollado para la arquitectura del softswitch, fue MGCP definido por RFC 2705, el cual sirvió de antesala para el protocolo MEGACO o H.248, que le sucedió, y que actualmente goza de mayor aceptación en la industria. Está definido por RFC 2885 y actualizado en RFC 2886 y RFC 3015. Aunque MGCP sigue siendo implementado por la mayoría de fabricantes, es posible en la mayoría de casos, actualizar las plataformas para que también manejen MEGACO.

MEGACO define las funciones de los MGCs de la red y los mensajes y transacciones entre los MGC y MG de la red. Los mensajes del punto de origen de una solicitud de conexión se denominan "*TransactionRequest*" o solicitud de transacción y la respuesta "*TransactionReply*" ó Respuesta de transacción. MEGACO soporta dos tipos de codificación de mensajes ya sea como mensajes de texto ABNF (de sus siglas en inglés *Argumented Backus-Naur Form*) definido por RFC 2234, y como un mensaje binario ASN.1 (de sus siglas en inglés *Abstract Syntax Notation 1*). Para soportar MEGACO, las MGCs deben soportar ambos tipos de mensajes, dado que la mayoría de mensajes se originan en los MGCs, pero en algunos casos se originan también en los MGs, aunque en estos no es necesario que soporten ambos tipos de mensajes.

Los puntos de terminación en MEGACO, son entidades lógicas que residen en los MG, aunque también pueden estar relacionados con interfaces físicas como líneas analógicas para interconexión de teléfonos y/o canales DS0 (TS de 64kbps, en una interfaz E1/T1). Las sesiones RTP, también pueden considerarse como puntos de terminación, aunque estas solo tengan un significado temporal y desaparezcan al terminar las conexiones.

Todos los puntos de terminación cuentan con un grupo de registros descriptores que determinan su naturaleza. MEGACO crea asociaciones entre puntos de terminación con el objeto de compartir los recursos de transporte de medios (utilizando flujos RTP, por ejemplo), entre los servicios terminados. MEGACO transfiere la información de nodo a nodo a través de transacciones. Las transacciones implican un mensaje de solicitud y un mensaje de respuesta a la solicitud, las transacciones se pueden combinar y concatenar en múltiples mensajes.

### **3.5. Sistema de tarificación**

La implementación de un sistema de tarificación para VoIP, requiere de algunos elementos adicionales en la topología, y de software especializado para llevar a cabo la tarea. Dentro de los nuevos elementos se debe considerar un servidor BAMS, o sistema similar para adaptar los datos de los MGCs y presentarlos ante un sistema de base de datos, que es el que ejecutará en sí los procedimientos de ordenamiento, clasificación y registro para emitir la facturación mensual a los usuarios del sistema.

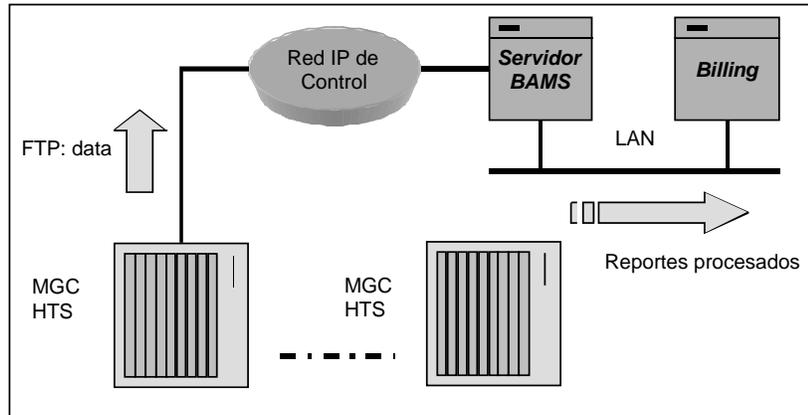
Por ejemplo, Sistemas como BAMS de Cisco recolectan la información de los MGCs utilizando el protocolo FTP almacenando y actualizando la información en formato binario para luego adaptarla a un formato entendible por el sistema de tarificación, agregando también datos que no puede obtener de los MGCs. También se pueden recolectar datos referentes al desempeño, alarmas y mantenimiento de los MGCs mediante este procedimiento.

Luego de que los datos son extraídos de la red son almacenados en discos duros u otros dispositivos de donde el sistema de tarificación pueda acceder a los mismos. Los registros grabados en los dispositivos son de formato BAF, que es un estándar muy utilizado por sistemas de tarificación populares en la industria. Los nombres de los archivos son generados por los mismos MGCs.

El sistema BAMS se instala en un servidor Sun Microsystems, y corre sobre la plataforma Sun Solaris versión 8 (para BAMS R. 3.x). El sistema de respaldo debe cumplir con la especificación Sun Netra, y se escribe sobre una media de almacenamiento masivo (*Tape Backup*), los procesos de respaldo están ampliamente difundidos en la documentación del sistema operativo, es posible también instalar controladores de alta disponibilidad, como por ejemplo Veritas-HA. Es posible configurar los servidores BAMS en configuración 1+1 en caso sea necesario.

El sistema de tarificación en sí reside en un servidor distinto denominado Servidor AAA que genera los CDR. Para poder generar los datos del CDR, todos los nodos deben estar sincronizados manteniendo la misma fecha y hora. Por lo que se requiere que los nodos MGCs manejen el protocolo NTP para que los reportes CDR tengan una hora de inicio y finalización válida. En la arquitectura de H.323 los CDR se generan automáticamente por los nodos. Pero en el caso que utilicemos MGCs estos generan su propio formato de CDR que tiene que ser convertido por el Servidor BAMS antes de presentarlo al sistema de tarificación que espera registros AMA-BAF de acuerdo con lo especificado por Telcordia en sus documentos GR-1100 y GR-508, ó la versión ANSI de GR-1100. En la siguiente figura se detalla la función del sistemas BAMS:

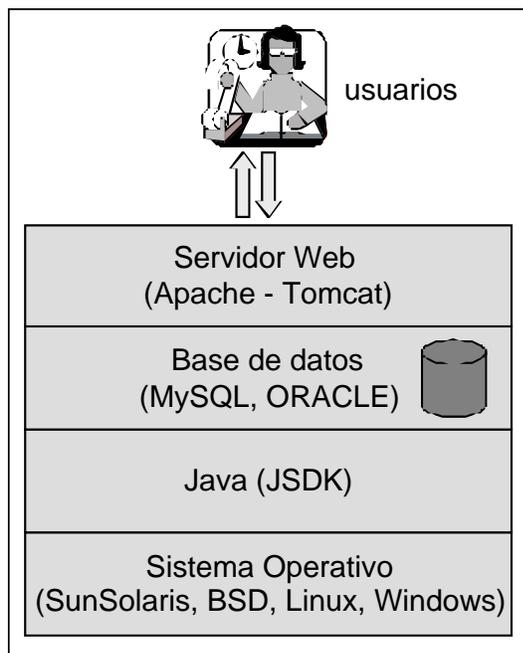
**Figura 40: Topología simplificada del Servidor BAMS**



Existe amplia documentación de como realizar la configuración de un sistema como el descrito anteriormente, y no se entrará en detalle de la configuración de zonas de tarificación en la topología. Por supuesto, la tecnología BAMS es una de tantas opciones disponibles en el mercado, y existen sistemas que integran las funciones de adaptación de reportes y facturación en una misma plataforma.

Para la implementación del sistema de cobro, se debe escoger una plataforma abierta, es decir que tenga la posibilidad de instalarse fácilmente sobre una plataforma de hardware común, que sea basada en estándares, y que sea posible agregar funcionalidad al sistema, con solo instalar módulos de software adicionales. Una opción muy atractiva para implementar el sistema de cobro, es la basada en aplicaciones *web*, la cual puede ser instalada en cualquier servidor de Internet basado en Java (por ejemplo Apache *Web Server* <http://www.apache.org>), esto le da la ventaja de poder ser utilizado por la empresa en diferentes localidades geográficamente dispersas. De acuerdo con esto, el modelo del sistema de tarificación se describe en la siguiente gráfica:

**Figura 41: Modelo del sistema de tarificación**



Fuente: *Advanced VoIP Billing System, V.3.0*

En el sentido estricto de los sistemas de cobro a usuarios finales, existen dos modalidades:

- **Pre-pago:** Donde el sistema procesa cuentas con saldos pre-autorizados, al adquirir y activar códigos en tarjetas vendidas al usuario final. Podría ser una alternativa viable para evitar el proceso de facturación a cada uno de los usuarios finales, por la empresa proveedora del servicio.
- **Post-pago:** Implican que el cobro se realice al final de un período determinado, por lo general es mensual.

Los modelos de cobro pueden ser también clasificados de acuerdo con la entidad que realice el cobro, ya sea por reventa o cobro directo. Con una solución como la mencionada anteriormente, el cliente puede tener varias ventajas, entre las cuales puede figurar la consulta de saldos, y facturación en Internet, cambios de perfil de cliente, etc. También es posible el implementar planes de telefonía básica con diferentes características, para usuarios particulares, negocios y empresas.

La mayoría de sistemas pueden elaborar reportes muy completos sobre contabilidad general, prepago, mercadeo, utilización y estado de agentes revendedores de servicio, lo cual es vital para mantener al día las necesidades de la red y predecir crecimiento de tráfico a tiempo.

Existen varias aplicaciones de tarificación para sistemas VoIP, todas ofrecen varias alternativas, pero no hay que perder de vista las funciones primordiales que son:

- Autenticación de usuarios.
- Autorización de usuarios.
- Administración de la contabilidad de los servicios ofrecidos (generación de reportes).

El sistema de tarificación a escoger debe realizar estas funciones como mínimo.



## **4. ANÁLISIS DE RED: PUNTO DE VISTA DEL TRÁFICO**

### **4.1. Generalidades**

Es necesario proyectar la utilización de la red a implementar para poder determinar las capacidades mínimas de las facilidades de transmisión de la misma. Este proceso se denomina agregación de tráfico, y describe la cantidad de tráfico de usuarios en cada punto de presencia de la red.

El propósito primordial del capítulo será obtener los efectos de la agregación de tráfico de voz sobre IP en la red de telecomunicaciones existente, mediante la combinación de lo expuesto en estudios de tráfico de sistemas conmutados por circuitos y el modelado de tráfico causado por conexiones VoIP.

Primero, hay que recordar que los paquetes de voz están codificados casi constantemente, en contraste con los paquetes de datos que llegan, se procesan y se envían por ráfagas. Por esto se dice que un paquete de VoIP será casi constante en el intervalo de envío como en su duración. En el capítulo 1 se tomó, como primera consideración el tipo de CODEC a utilizar, y es que diferentes tipos de CODEC producen diferentes intervalos de tráfico y diferentes tamaños de paquetes aunque el ancho de banda efectivo sea el mismo para cada canal.

Al utilizar un CODEC Híbrido, como G.729, y tomando en cuenta todos los encabezados superpuestos vemos que el tamaño del canal de audio es de 27.72 kbps, lo cual debe ser tomado en cuenta para el dimensionamiento de la red.

Para poder simular el flujo de tráfico de la red en cuestión, es válido utilizar los preceptos de la teoría convencional de tráfico para determinar los intervalos de tiempo entre llamadas y el tiempo de utilización de los recursos de transmisión de dichas llamadas. Por la naturaleza de los enlaces IP, no existe un mecanismo que impida la conexión de un usuario a la red a través de un enlace, ya que todos los usuarios están compartiendo los recursos al mismo tiempo, esto nos muestra la diferencia primordial entre la ingeniería de tráfico de un sistema TDM y la de un sistema IP que es la característica de no bloqueo de enlace.

#### **4.2. Teoría de tráfico en sistemas VoIP**

Para aplicar la teoría convencional de tráfico telefónico, debemos de determinar un modelo matemático para describir el comportamiento de los tiempos entre llamadas y los tiempos de utilización. Según la teoría convencional se tiene que la mayoría del ocasiones los tiempos de ocupación de llamada ( $b$ ) están dados por la relación exponencial:

$$P(b > t) = e^{-\frac{t}{m}}$$

Que da la probabilidad que la llamada termine en el tiempo “t”. La variable “tm” define el tiempo promedio de ocupación AHT, que se define por la siguiente formula:

$$AHT = \frac{\text{Tiempo de llamada}}{\text{Número total de llamadas}}$$

El factor AHT es una función de la hora del día. En muchos ambientes el valor de AHT es de alrededor de 300 segundos. Para calcular AHT debe tomarse muestras de tráfico en períodos de 15 a 60 minutos (de acuerdo con las recomendaciones UIT-T).

El tiempo entre llamadas IAT se asume como distribuido exponencialmente, pero depende de factores externos que influyen en los patrones de llamada de los usuarios. En aplicaciones de telemarketing y “call center” se puede asumir una distribución hipo-exponencial.

Es necesario también, reconocer el tipo de mezcla de tráfico de voz a transportar, determinando el porcentaje de tráfico relacionado con el comercio y el porcentaje de tráfico doméstico interdepartamental.

Existen dos posibilidades en cuanto a los métodos de ingeniería para dimensionar el tráfico de la red. El primero es conocido como método de gravedad y es el que por lo general se emplea cuando no existen datos para la estimación de tráfico previo a la implementación de la red. El segundo es conocido como el de predicción de tráfico e involucra un análisis más profundo de las estadísticas de la población y de la penetración de los servicios por localidad. Ambos métodos se presentan en los puntos 4.3 y 4.4.

### 4.3. Modelo de gravedad

Desde el punto de vista de diseño de una red de banda ancha, la ingeniería de tráfico en una red que lleva servicios de datos, voz y posiblemente vídeo, es un proceso complejo. El objetivo es el identificar los puntos de terminación, consolidación y concentración de los distintos servicios ofrecidos y obtener la ruta más adecuada para el enrutamiento de los mismos, teniendo en cuenta el patrón de utilización de enlaces para cada tipo de tráfico y aplicación.

El tráfico telefónico de un sistema se define como el consumo de enlaces agregados de un grupo de circuitos localizados en una determinada región o localidad. En el caso general, el tráfico se define por el número de llamadas ( $N/T$ , donde  $T$  es el período) por la duración de dichas llamadas, en este caso se definirá el período  $T$  como igual a una hora (60min). Esto representa la intensidad de llamadas, las plataformas de conmutación presentan estadísticas de utilización como parte de su funcionalidad, y es de estas estadísticas de utilización que se valen los ingenieros de conmutación para determinar el número de facilidades de transmisión a solicitar en la red de transporte.

Existe otro parámetro importante: La densidad de tráfico, la cual se define por el número de llamadas simultáneas en cualquier momento.

Para poder determinar la cantidad de conmutadores requeridos en una red, es necesario conocer las estadísticas relacionadas a la intensidad y densidad de tráfico de una población.

Como alternativa, al no contar con datos exactos de la demanda de tráfico en los nodos de acceso, se puede simplificar el trabajo utilizando un modelo de “gravedad”, en el cual se asume que todos los nodos recibirán el mismo tráfico de la red de transporte o para efectos de este análisis del conmutador telefónico, aunque esto es una aproximación, nos puede ayudar a dimensionar los enlaces teniendo en cuenta crecimiento a futuro, o por lo menos esa es la intención. En resumen, nuestra red de transporte debe dimensionarse para soportar todo el tráfico transportado que exija la red y preferentemente un porcentaje más para evitar bloqueo y degradación de servicios.

Las ecuaciones deducidas de este modelo son las siguientes:

$$t_{mn} = (T_{m,i} \times T_{n,i}) / T_{L,i}$$

$$t_{m,i} = \sum_{j=1}^n t_{l,i}^j$$

$$T_{L,i} = \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^n t_{l,i}^j$$

Donde:

*m = Nodo origen*

*n = Nodo destino*

*i = año*

*L = Número de nodos*

*t<sub>m,n</sub> = tráfico entre m y n en el iésimo año*

*T<sub>m,i</sub> = tráfico de m en el iésimo año*

*T<sub>n,i</sub> = tráfico de n en el iésimo año*

*T<sub>L,i</sub> = tráfico total de todos los nodos en el iésimo año*

Este modelo es una herramienta bastante útil para deducir el tráfico estimado entre cualquier par de nodos dentro de la red.

El incrementar el ancho de banda, puede sonar como la solución más simple para garantizar una calidad de servicio aceptable en la red, pero es evidentemente una solución cara, dado a que habría que sobredimensionar la red de transmisión para poder cubrir las necesidades de los servicios en horas pico. El problema es, precisamente, que el alivio de la red en situaciones de congestión implica el contar con recursos ociosos en situaciones de concentración de tráfico normal. Entonces, el incrementar el ancho de banda suena como una solución muy ineficiente para solventar los problemas de calidad de servicio, sin embargo, en muchas situaciones, es posible sobredimensionar los enlaces de transmisión, más que todo en la capa de transporte donde contamos con facilidades de transmisión ópticas con suficiente capacidad, pero no sería factible en los enlaces de acceso a comunidades remotas, es allí donde tenemos que enfocar los recursos de la ingeniería de tráfico para optimizar los recursos que pueden ser escasos.

#### **4.4. Predicción de tráfico**

En contraste al método de “gravedad” , se expone a continuación el proceso de predicción de tráfico. Uno de los requerimientos del diseño de la red es el poder transportar el tráfico proyectado para el inicio de operaciones más un porcentaje de crecimiento por demanda. Un ejemplo de construcción de una tabla de proyección de tráfico se muestra a continuación:

**Tabla VII: Proyección de suscriptores**

Proyección de Suscriptores								
Nr	Departamento	Tiempo después de lanzamiento al mercado						
		+ 3 meses	+ 6 meses	+ 9 meses	+ 1 año	+ 18 meses	+2 años	+3 años
1	Ciudad 1	15,000	48,000	98,800	159,900	301,200	427,600	627,200
2	Ciudad 2	8,300	46,400	54,400	88,000	165,700	235,200	345,000
3	Ciudad 3	9,000	28,800	59,300	96,000	180,800	256,600	376,400
4	Ciudad 4	7,800	25,000	51,400	83,200	156,700	222,400	326,200
5	Ciudad 5	9,800	31,200	64,300	104,000	195,800	278,000	407,700
6	Ciudad 6	12,600	40,400	83,000	134,400	253,100	359,200	526,900
7	Ciudad 7	11,700	37,500	77,100	124,800	235,000	333,500	489,300
8	Ciudad 8	11,300	36,000	74,100	120,000	225,900	320,700	470,400
9	Ciudad 9	7,500	24,000	49,400	80,000	150,600	213,800	313,600
10	Ciudad 10	13,800	44,200	90,900	147,200	277,200	393,400	577,500
11	Ciudad 11	12,000	38,400	79,100	128,000	241,000	342,100	501,800
12	Ciudad 12	10,500	33,600	69,200	112,000	210,900	299,400	439,100

**Fuente: Daniel Collins. *Carrier Grade VoIP*, P. 451**

En la tabla anterior se expone la cantidad de suscriptores en 12 ciudades, claro que los números en un proyecto real variarán, viendo un nivel significativamente menor pero con un crecimiento porcentual que obedecerá a la estrategia de negocio de la empresa. Cada columna representa una estimación de muestreo de usuarios después de un tiempo determinado de la implementación del proyecto.

Una práctica para predecir el tráfico en la red, se puede comparar con las estadísticas de tráfico de la red de telefonía convencional ya sea propia o de la competencia, clasificando en usuarios metropolitanos y rurales, dicha información es publicada y continuamente actualizada por la superintendencia de telecomunicaciones ([www.sit.gob.gt](http://www.sit.gob.gt)). Aunque la información más específica, debe ser solicitada directamente con un representante de la SIT.

Suponiendo que se proveerán servicios a usuarios residenciales en el área rural, habría que obtener los resultados estadísticos de la utilización actual, y compararlos contra la demanda potencial del mercado para preveer un crecimiento objetivo de la red.

Dado a que, la facturación de los servicios se realiza por minuto, las predicciones de tráfico se realizan en minutos de uso o MoU por usuario por mes.

Antes de hacer una estimación del tráfico, es necesario remitirse a las estadísticas para determinar el número de usuarios aproximado en cada comunidad. La estimación de tráfico se realizará solamente para las comunidades primordiales donde el volumen de tráfico justifique el estudio.

De acuerdo con las estadísticas recolectadas por la Superintendencia de Telecomunicaciones SIT para mediados del año 2002, se tenían en cuenta 843,766 líneas fijas entre todos los operadores a nivel nacional. Se puede entonces, construir una tabla con el número de suscriptores que es posible captar en la red obedeciendo a un porcentaje de captación de mercado de 4%, por ejemplo.

**Tabla VIII: Acumulación de suscriptores tomando en cuenta una Captación de mercado del 4% en los primeros tres meses, y un crecimiento trimestral del 4% adicional al acumulado**

<b>Acumulación de usuarios: captación de 4% del mercado</b>							
<b>Nr</b>	<b>Departamento</b>	<b>Tiempo después de lanzamiento al mercado</b>					
		<b>+ 3 meses</b>	<b>+ 6 meses</b>	<b>+ 9 meses</b>	<b>+ 1 año</b>	<b>+ 18 meses</b>	<b>+2 años</b>
1	Alta Verapaz	332	345	359	373	403	435
2	Baja Verapaz	86	90	93	97	105	113
3	Chimaltenango	454	472	491	510	551	595
4	Chiquimula	446	464	482	502	542	585
5	El Petén	280	291	302	315	340	367
6	El Progreso	112	117	122	126	137	148
7	El Quiché	228	237	246	256	277	299
8	Escuintla	936	973	1,012	1,053	1,137	1,228
9	Guatemala	19,806	20,598	21,422	22,279	24,061	25,986
10	Huehuetenango	519	540	561	584	630	681
11	Izabal	521	542	564	586	633	684
12	Jalapa	213	221	230	239	259	279
13	Jutiapa	337	350	364	379	409	442
14	Quetzaltenango	1,438	1,496	1,556	1,618	1,747	1,887
15	Retalhuleu	289	301	313	325	351	379
16	Sacatepequez	579	603	627	652	704	760
17	San Marcos	495	514	535	556	601	649
18	Santa Rosa	196	204	212	221	238	257
19	Sololá	177	184	192	199	215	233
20	Suchitepequez	407	424	440	458	495	534
21	Totonicapán	188	195	203	211	228	246
22	Zacapa	466	485	504	524	566	612
<b>TOTAL</b>		<b>28,505</b>	<b>29,645</b>	<b>30,831</b>	<b>32,064</b>	<b>34,629</b>	<b>37,400</b>

Según las estadísticas de la SIT, para los años 1995 – 2000, el porcentaje promedio de crecimiento anual de líneas fijas fue de 17% aproximadamente, por lo que asumir un 4% de crecimiento trimestral lineal parece ser una figura realista y conservadora, aunque en condiciones normales no sea este el caso, este cuadro deberá ser ajustado de acuerdo con el criterio de crecimiento dictado por la gerencia y las condiciones del mercado.

El trabajo del ingeniero encargado del diseño de tal red, es el de convertir los datos expuestos en la tabla anterior en datos que puedan ayudar a diseñar una red VoIP que pueda soportar tal tráfico. El primer paso es el establecer la demanda de tráfico durante la hora cargada. En la siguiente tabla se expone un ejemplo de la distribución de carga en minutos de uso

**Tabla IX: Estimación de minutos de uso por población**

Predicción de tráfico por suscriptor mensual MoU							
Nr	Departamento	Tiempo después de lanzamiento al mercado					
		+ 3 meses	+ 6 meses	+ 9 meses	+ 1 año	+ 18 meses	+2 años
1	Alta Verapaz	110	115	120	122	125	130
2	Baja Verapaz	110	115	120	122	125	130
3	Chimaltenango	110	115	120	122	125	130
4	Chiquimula	110	115	120	122	125	130
5	El Petén	110	115	120	122	125	130
6	El Progreso	110	115	120	122	125	130
7	El Quiché	110	115	120	122	125	130
8	Escuintla	110	115	120	122	125	130
9	Guatemala	110	115	120	122	125	130
10	Huehuetenango	110	115	120	122	125	130
11	Izabal	110	115	120	122	125	130
12	Jalapa	110	115	120	122	125	130
13	Jutiapa	110	115	120	122	125	130
14	Quetzaltenango	110	115	120	122	125	130
15	Retalhuleu	110	115	120	122	125	130
16	Sacatepequez	110	115	120	122	125	130
17	San Marcos	110	115	120	122	125	130
18	Santa Rosa	110	115	120	122	125	130
19	Sololá	110	115	120	122	125	130
20	Suchitepequez	110	115	120	122	125	130
21	Totonicapán	110	115	120	122	125	130
22	Zacapa	110	115	120	122	125	130

Fuente: Tabla original, Daniel Collins. *Carrier Grade VoIP*, P. 452.

Dentro de las estadísticas relevantes a la predicción de tráfico es, precisamente, el promedio de estos minutos de uso de cada usuario. Se asume que, para aplicaciones residenciales, un valor de 120 minutos de uso mensual sería adecuado, tomando en cuenta los planes de telefonía fija actual. La cantidad de minutos de uso del usuario es una compleja función de la aplicación, y factores externos propios de la comunidad y de las costumbres de comunicación de los usuarios.

Otro factor que puede asumirse para este análisis, es la utilización de los minutos de uso entre semana y en fin de semana. Es posible asumir que el 60% mensual será generado entre semana (21 días al mes), y el 40% en los fines de semana. Adicionalmente, se asume que el tráfico generado ocurrirá durante la hora cargada (sección 3.2.2.1).

Para el servicio interdepartamental, el tráfico residencial se concentra en horas de la tarde/noche, mientras el tráfico de negocios se asume concentrado durante el día laboral. Teniendo en cuenta estos parámetros, podemos calcular la utilización promedio de la hora cargada (en MoU por suscriptor):

(MoU por mes) x (fracción entre semana) x (porcentaje en hora cargada / días laborables del mes).

Lo que en nuestro ejemplo da  $120 \times 0.6 \times 0.20 / 0.21 = 0.686$  MoU/suscriptor/horacargada. Traduciendo esto a Erlang, tenemos:

$$1 \text{ Erlang} = 60 \text{ MoU}$$

Por lo que  $0.686 / 60 = 0.0114$  Erlang/suscriptor/hora cargada. En la sección 4.2 se introdujo el concepto de AHT ó tiempo promedio de ocupación, que es conocido también como MHT, que es el valor más común de AHT/MHT es de 5 minutos por llamada (300segundos). Los datos sobre Erlang y AHT nos ayudarán a determinar el estimado del número de llamadas en la hora cargada y el tráfico total. La cantidad a determinar es conocida como intentos de llamada en la hora cargada o BHCA. BHCA es la variable crítica para el diseño y dimensionamiento de los MGCs, y viene dado por:

$$\text{BHCA} = \text{Erlang} \times 3600 / \text{AHT}$$

Por lo que en nuestro ejemplo tenemos  $0.0114 \times 3600 / 300 \text{seg.} = 0.137$ . Esto implica que un suscriptor con un tiempo promedio MoU de 120 hará 0.137 llamadas en la hora cargada.

Teniendo en cuenta, entonces un factor AHT = 300; MoU = 120 y todas los factores asumidos en los párrafos anteriores podemos computar las tablas de Erlang y BHCA para la red:

**Tabla X: Estimación de Erlang en hora cargada**

Predicción de Erlang en Hora Cargada: Llamadas salientes							
Nr	Departamento	Tiempo después de lanzamiento al mercado					
		+ 3 meses	+ 6 meses	+ 9 meses	+ 1 año	+ 18 meses	+2 años
1	Alta Verapaz	3.47	3.78	4.10	4.34	4.80	5.39
2	Baja Verapaz	0.90	0.98	1.07	1.13	1.25	1.40
3	Chimaltenango	4.75	5.17	5.61	5.93	6.56	7.37
4	Chiquimula	4.67	5.08	5.51	5.83	6.45	7.24
5	El Petén	2.93	3.18	3.46	3.65	4.04	4.54
6	El Progreso	1.18	1.28	1.39	1.47	1.63	1.83
7	El Quiché	2.39	2.59	2.81	2.98	3.29	3.70
8	Escuintla	9.80	10.66	11.57	12.23	13.54	15.20
9	Guatemala	207.49	225.60	244.83	258.86	286.45	321.74
10	Huehuetenango	5.44	5.91	6.41	6.78	7.50	8.43
11	Izabal	5.46	5.94	6.44	6.81	7.54	8.47
12	Jalapa	2.23	2.42	2.63	2.78	3.08	3.46
13	Jutiapa	3.53	3.84	4.17	4.40	4.87	5.47
14	Quetzaltenango	15.07	16.38	17.78	18.80	20.80	23.36
15	Retalhuleu	3.03	3.29	3.57	3.78	4.18	4.69
16	Sacatepequez	6.07	6.60	7.16	7.57	8.38	9.41
17	San Marcos	5.18	5.63	6.11	6.47	7.15	8.04
18	Santa Rosa	2.06	2.24	2.43	2.56	2.84	3.19
19	Sololá	1.86	2.02	2.19	2.32	2.56	2.88
20	Suchitepequez	4.27	4.64	5.03	5.32	5.89	6.62
21	Totonicapán	1.97	2.14	2.32	2.45	2.72	3.05
22	Zacapa	4.88	5.31	5.76	6.09	6.74	7.57

**Fuente:** Tabla original, Daniel Collins. *Carrier Grade VoIP*, P. 454.

**Tabla XI: Estimación de BHCA en hora cargada**

Predicción de BHCA en Hora Cargada: Llamadas salientes							
Nr	Departamento	Tiempo después de lanzamiento al mercado					
		+ 3 meses	+ 6 meses	+ 9 meses	+ 1 año	+ 18 meses	+2 años
1	Alta Verapaz	41.70	45.34	49.20	52.02	57.56	64.65
2	Baja Verapaz	10.85	11.80	12.80	13.54	14.98	16.83
3	Chimaltenango	57.01	61.99	67.27	71.13	78.71	88.41
4	Chiquimula	56.05	60.95	66.14	69.93	77.38	86.92
5	El Petén	35.15	38.22	41.47	43.85	48.52	54.50
6	El Progreso	14.14	15.37	16.68	17.63	19.51	21.92
7	El Quiché	28.62	31.12	33.77	35.71	39.51	44.38
8	Escuintla	117.65	127.92	138.82	146.78	162.42	182.43
9	Guatemala	2,489.91	2,707.21	2,937.91	3,106.35	3,437.35	3,860.84
10	Huehuetenango	65.22	70.91	76.96	81.37	90.04	101.13
11	Izabal	65.54	71.26	77.34	81.77	90.48	101.63
12	Jalapa	26.76	29.09	31.57	33.38	36.94	41.49
13	Jutiapa	42.36	46.06	49.98	52.85	58.48	65.68
14	Quetzaltenango	180.80	196.58	213.33	225.56	249.59	280.34
15	Retalhuleu	36.33	39.50	42.86	45.32	50.15	56.33
16	Sacatepequez	72.84	79.20	85.94	90.87	100.56	112.94
17	San Marcos	62.19	67.62	73.38	77.58	85.85	96.43
18	Santa Rosa	24.67	26.82	29.11	30.78	34.06	38.25
19	Sololá	22.28	24.23	26.29	27.80	30.76	34.55
20	Suchitepequez	51.20	55.66	60.41	63.87	70.68	79.38
21	Totonicapán	23.61	25.67	27.86	29.45	32.59	36.61
22	Zacapa	58.61	63.73	69.16	73.12	80.92	90.89

**Fuente:** Tabla original, Daniel Collins. *Carrier Grade VoIP*, P. 454.

Lo asumido en las tablas 4-2 y 4-3 debe ser monitoreado constantemente para verificar su validez, y comparado con las cantidades reales, que se conocerán una vez, en resumen, la predicción de tráfico solo puede basarse en datos asumidos sobre comportamiento de los usuarios y los patrones de utilización conocidos, para rectificar los datos planteados, previo a la implementación del sistema en el mercado, es necesario recolectar las estadísticas de la red en producción.

Dado a que el sistema que estamos diseñando se enfoca en la interconexión de suscriptores en el área rural, debemos utilizar los datos que se plantean en las tablas anteriores, para la población que queremos trabajar.

#### 4.5. Distribución de tráfico

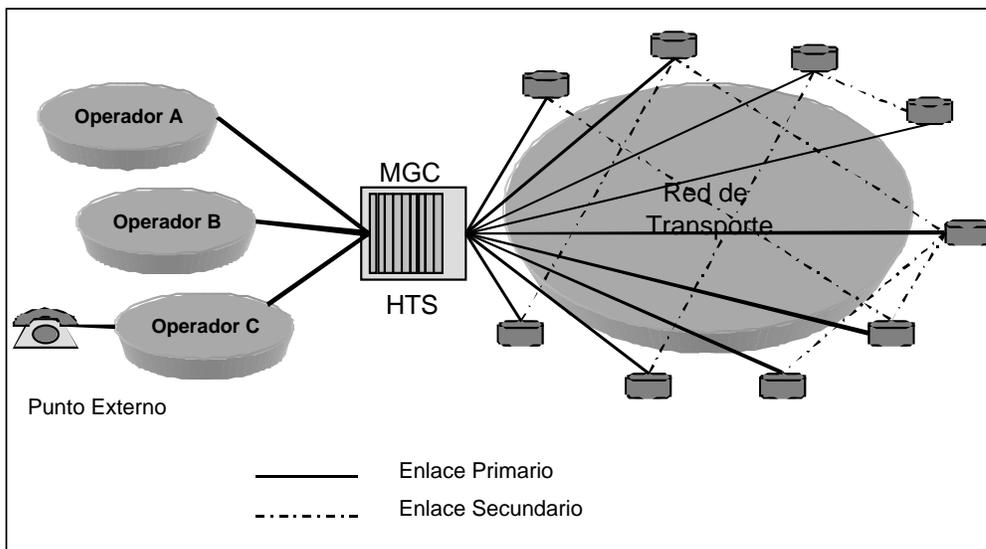
En la sección anterior, se expusieron los datos para la estimación de la generación de tráfico, ahora bien, es necesario saber a dónde va todo ese tráfico para el dimensionamiento de la red. Para lograr esto, se utilizará lo expuesto en el capítulo 2 para crear una matriz de tráfico total.

Como se vió en el capítulo 3, la red de conmutación se compone de líneas de entrada y líneas de salida. De poder realizarse, todas las llamadas tienen un punto de origen y uno de terminación. Una llamada que se origine en una comunidad remota, puede terminar en un punto central, ó enrutarse hacia otra comunidad, y se requiere de infraestructura en el punto de origen, en la red de conmutación y en el punto destino. Entonces es de vital importancia conocer la distribución de tráfico, determinando hacia donde viajan las llamadas originadas en cada punto remoto.

Para construir la matriz de tráfico, debemos considerar entonces los porcentajes de tráfico de cada punto remoto y distribuir la capacidad de dicho punto entre todos los demás sitios, incluyendo las llamadas que se terminen a otros operadores que pueden estar basados en VoIP o en la PSTN, denominaremos a este tráfico como terminado en “puntos externos” a la red en cuestión, los cuales pueden terminar en distintos operadores. Los “puntos externos” se enrutan a través de enlaces de interconexión con otros operadores, típicamente se encuentran en un punto centralizado donde se encuentre el MGC principal (HTS), que conforma la columna vertebral de la red.

Para la aplicación en cuestión, el patrón de tráfico será centralizado al principio, dado que para optimizar la inversión se contará con un solo MGC de alta jerarquía, todos los enlaces principales irán desde los puntos de presencia, hacia el punto de interconexión central, pueden existir, sin embargo, enlaces secundarios que enrutan tráfico entre puntos remotos, por lo que es deseable que el equipo remoto pueda ejercer funciones de MGC de menor jerarquía, para prestar servicios de transporte de voz y señalización. A continuación se ilustra la topología, según este patrón de tráfico:

**Figura 42: Distribución de tráfico centralizada**



Teniendo en cuenta que el MGC principal se instale en la ciudad capital, y que exista un patrón casi centralizado de llamadas desde el interior del país, aunque es bastante difícil predecir la cantidad de tráfico generado desde un punto de presencia a otro, es posible asumir las cantidades refiriéndose a los niveles de población de cada comunidad, pudiendo así, estimar una matriz de tráfico.

Como se vió en el capítulo 2, sección 2.3.5 la forma en que es posible construir una matriz de tráfico cuando los anchos de banda son conocidos.

En el caso de la red VoIP, debemos elaborar la matriz de tráfico trabajando primero con porcentajes, y estimando un porcentaje de terminación de tráfico en puntos externos, los cuales serán entregados por el MGC o MG principal a los diferentes operadores con los cuales se llegue a un acuerdo de interconexión. Para definir un porcentaje de llamadas terminadas en puntos externos es necesario tomar una determinación basada en las estadísticas actuales de distribución de tráfico telefónico en el país.

De acuerdo con los datos presentados por SIT, el 67% de las líneas totales del país se localizan en la ciudad capital. En este análisis asumiremos que el 75% del tráfico originado en las comunidades remotas será terminado en el punto principal ubicado en este caso en la ciudad capital, donde se establece también la interconexión con los distintos operadores de telefonía local y de larga distancia. El tráfico de los puntos remotos será una mezcla de tráfico PSTN interdepartamental, internacional y el que se enrute hacia puntos de la PSTN en la ciudad capital.

Los operadores externos manejan, por lo general, equipos PSTN que utilizan señalización C7 e implementan sistemas CODEC G.711 para terminar los servicios. Es por eso que la MGC/MG que entregue estos servicios deberá entablar la negociación del CODEC a implementar si la red externa utiliza otra tecnología distinta a G.711, este es el caso cuando nuestra red se interconecta a otra red VoIP.

La matriz de tráfico estimado se construye en base a porcentajes de utilización, no en unidades de transporte dado a que todavía no sabemos el ancho de banda total requerido. Los porcentajes de utilización se calculan tomando en cuenta las estadísticas proporcionadas por la SIT, para el año 2002, de acuerdo con esto, una matriz de tráfico estimada se construye a continuación:

#### **4.6. Dimensionamiento de elementos de red**

Una vez hemos definido una estimación de demanda y distribución de tráfico y se ha establecido un criterio de diseño general de la red, es posible determinar la topología de la red especificando el número de elementos de red necesarios en cada localidad y el ancho de banda requerido entre los mismos. El primer paso es determinar la conectividad lógica requerida, es decir, el ancho de banda neto entre nodos, para luego especificar con mayor detalle las interfaces y conexiones utilizadas en la topología final. En el caso de la red VoIP rural, el tráfico fluye desde un punto centralizado de interconexión hacia los puntos remotos de distribución, de donde se derivan hacia las distintas comunidades. De acuerdo con las estadísticas de la SIT, los departamentos con menos recursos de telecomunicaciones son El Quiché, Alta Verapaz, Baja Verapaz, Huehuetenango y Sololá.

A continuación se muestra una tabla con estadísticas relevantes, corroborando este hecho:

**Tabla XII: Estadísticas demográficas y de telefonía fija**

Estadísticas de Telefonía fija: Junio de 2002						
#	Departamento	Población	# Viviendas	Lineas fijas	Pobl. Por línea	Lineas por vivienda
1	Alta Verapaz	776,246	149,996	9,641	80.5	0.06
2	Baja Verapaz	215,915	52,980	2,775	77.8	0.05
3	Chimaltenango	446,133	93,665	15,547	28.7	0.17
4	Chiquimula	302,485	69,507	11,458	26.4	0.16
5	El Petén	366,735	81,652	8,489	43.2	0.10
6	El Progreso	139,490	36,209	3,479	40.1	0.10
7	El Quiché	655,510	140,046	6,996	93.7	0.05
8	Escuintla	538,746	129,208	31,081	17.3	0.24
9	Guatemala	2,541,581	619,636	540,009	4.7	0.87
10	Huehuetenango	846,544	196,257	15,200	55.7	0.08
11	Izabal	314,306	76,572	14,539	21.6	0.19
12	Jalapa	242,926	54,139	5,393	45.0	0.10
13	Jutiapa	389,085	94,807	9,210	42.2	0.10
14	Quetzaltenango	624,716	143,085	43,096	14.5	0.30
15	Retalhuleu	241,411	54,720	8,594	28.1	0.16
16	Sacatepequez	248,019	54,414	19,353	12.8	0.36
17	San Marcos	794,951	177,946	17,058	46.6	0.10
18	Santa Rosa	301,370	74,458	7,175	42.0	0.10
19	Sololá	307,661	62,890	5,222	58.9	0.08
20	Suchitepequez	403,945	90,628	14,249	28.3	0.16
21	Totonicapán	339,254	75,502	6,256	54.2	0.08
22	Zacapa	200,167	49,958	12,327	16.2	0.25
TOTALES		11,237,196	2,578,275	807,147	13.9	0.31

Fuente: INE Instituto nacional de estadística, SIT superintendencia de telecomunicaciones.

Se tomará por ejemplo el departamento de El Quiché, que es el departamento que tiene el nivel de penetración de telecomunicaciones más bajo. En la siguiente tabla se muestra la distribución por municipio de las líneas VoIP a instalar tomando en cuenta lo establecido en la tabla 4-2 a un valor inicial para captar suficientes clientes por un año (256 usuarios):

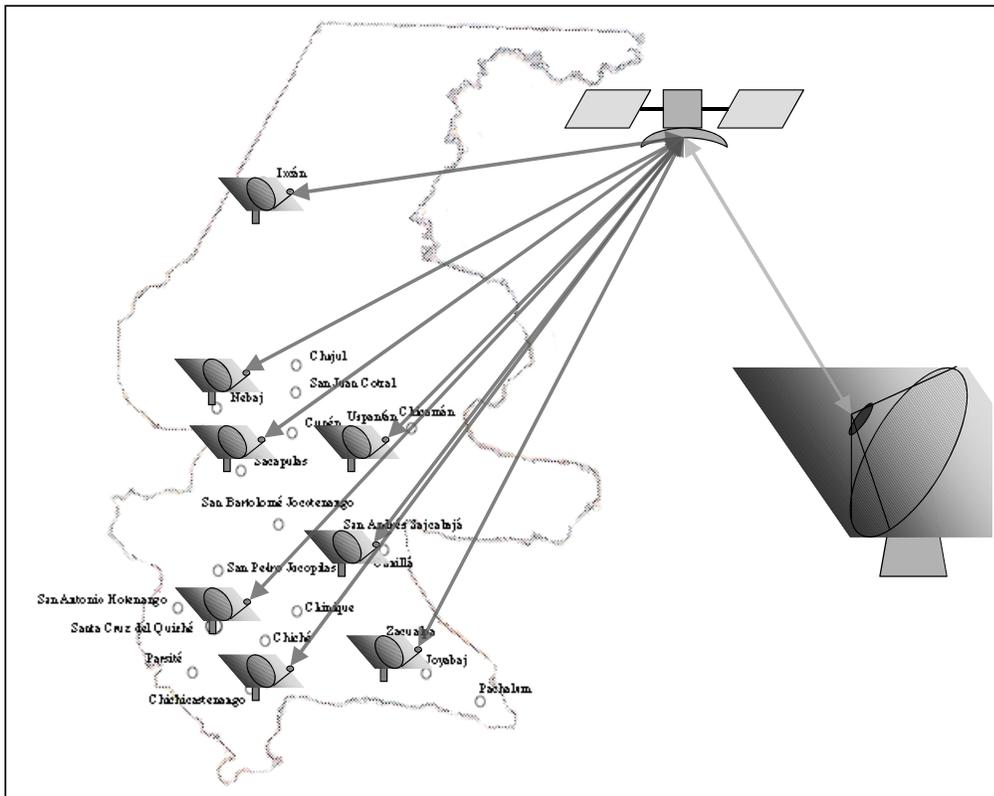
**Tabla XIII: Distribución estimada de líneas VoIP por municipio para el dpto. de El Quiché. Implementación inicial**

<b>El Quiché: Estimación de líneas VoIP por municipio</b>				
<b>#</b>	<b>Municipio</b>	<b>Población</b>	<b># Viviendas</b>	<b>Líneas VoIP</b>
1	Santa Cruz del Quiché	62,369	15,403	24
2	Chiché	19,762	4,025	8
3	Chinique	8,009	2,176	3
4	Zacualpa	22,846	5,484	9
5	Chajul	31,780	6,051	12
6	Chichicastenango	107,193	20,258	42
7	Patsité	4,695	1,087	2
8	San Antonio Ilotenango	17,204	3,551	7
9	San Pedro Jocopilas	21,782	4,567	9
10	Cunén	25,595	5,066	10
11	San Juan Cotzal	20,050	4,444	8
12	Joyabaj	52,498	12,124	21
13	Nebaj	53,617	11,450	21
14	San Andrés Sajcabajá	19,035	4,810	7
15	Uspantán	41,892	8,626	16
16	Sacapulas	35,706	7,790	14
17	San Bartolomé Jocotenango	8,639	1,983	3
18	Canillá	9,073	2,347	4
19	Chicamán	25,280	5,214	10
20	Ixcán	61,448	11,624	24
21	Pachalum	7,037	1,966	3
<b>TOTALES</b>		<b>655,510</b>	<b>140,046</b>	<b>256</b>

La cantidad de líneas en la tabla anterior, es linealmente proporcional a la población de cada uno de los municipios, es claro, sin embargo que el número final de líneas obedecerá a una función más compleja teniendo en cuenta diversas variables de factibilidad, como por ejemplo, el alcance de enlaces inalámbricos en la topografía de cada lugar, el costo de transporte hasta el lugar de distribución ó punto de presencia, y factores relacionados con el comercio y costumbres de la población en cuestión, etc.

En el caso específico del departamento de El Quiché, los puntos de concentración de usuarios no se encuentran tan dispersos, pero la topografía del lugar impide en muchos casos que se implementen enlaces inalámbricos punto a punto, y es por esta razón que es una buena idea interconectar los sitios principales con estaciones satelitales de baja capacidad, como se muestra en la siguiente figura:

**Figura 43: Interconexión de satelital dpto. de El Quiché**

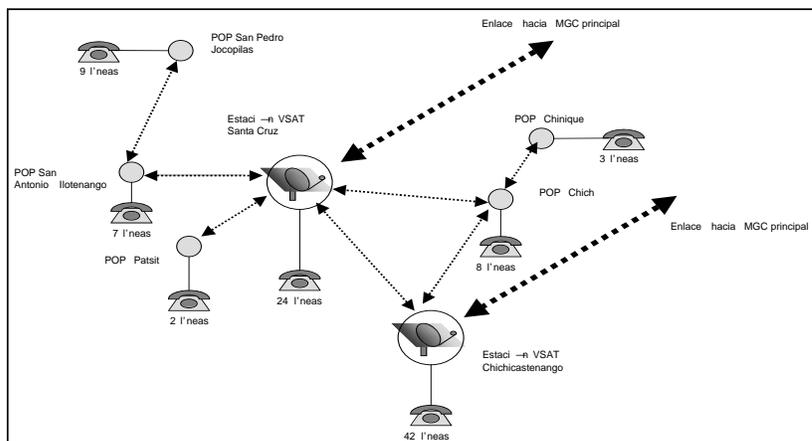


Claro que es conveniente tener en cuenta el retardo que los enlaces satelitales pueden introducir a la red.

Típicamente, pueden introducir de 250 hasta 500ms, claro que esto depende de la red que se utilice, y se requiere que el acceso de las estaciones remotas al telepuerto no contenga más de un salto satelital. Es importante considerar que el punto de interconexión de los sitios remotos esté cercano al MGC principal y la interconexión a operadores, ya que no es factible interconectar los sitios con dos saltos satelitales ó más, por el retardo y fluctuación que esto ocasionaría. Es recomendado en esta topología implementar equipo de cancelación de eco entre los MG y el sitio principal.

Tomando en cuenta estos puntos de presencia principales podemos agrupar los sitios de cobertura en sub-regiones geográficas. Por ejemplo, el sitio principal de esta topología, Santa Cruz del Quiché puede servir a las poblaciones cercanas como Chinique, Chiché, Patsité y San Antonio Ilotenango, mediante enlaces inalámbricos nuevos ó existentes. Claro que estas agrupaciones están sujetas a lo que dictamine un estudio real de topografía y línea vista de cada lugar. Para propósitos de ilustración de una metodología agruparemos los sitios en puntos de presencia principales y unidades remotas de la siguiente manera:

**Figura 44: Ejemplo de agrupamiento topográfico de sitios**



En la figura anterior se muestran dos puntos principales de interconexión: Chichicastenango y Santa Cruz, en las cuales se implementan estaciones satelitales VSAT, u otro medio a través de la red de transmisión, las cuales llevan el tráfico de sus vecinos hacia la MGC principal. En este caso particular cada enlace satelital debe ser lo suficientemente “ancho” como para soportar el tráfico de todos los puntos en caso de falla de cualquiera de las dos estaciones. Los sitios remotos son puntos agregadores de tráfico ó terminales empleando enlaces de alta velocidad con tecnología 802.11x, en bandas de frecuencia públicas ó licenciadas. Para utilizar más eficientemente los enlaces satelitales, los puntos de concentración de tráfico deben utilizar cRTP como protocolo de medios.

Utilizando los criterios establecidos en el capítulo 2, se puede obtener el ancho de banda máximo requerido para la topología de la figura anterior. En la siguiente tabla se muestran los anchos de banda por canal teniendo en cuenta el encabezado agregado por los protocolos de transmisión, de medios y de capa 2 aplicados :

**Tabla XIV: Ancho de banda requerido por canal  
Opción RTP y cRTP**

CODEC-Protocolo	Tasa de bit (kbps)
G.729 / RTP	27.72
G.729 / cRTP	13.6

Se asume también un factor de usuarios concurrentes (VAD) de 0.458. Teniendo esto en cuenta, podemos tabular los datos para estimar el ancho de banda requerido para transportar el máximo de tráfico desde el departamento hacia la capital donde se encontrará el MGC principal:

**Tabla XV: Ancho de banda total requerido  
departamento de El Quiché**

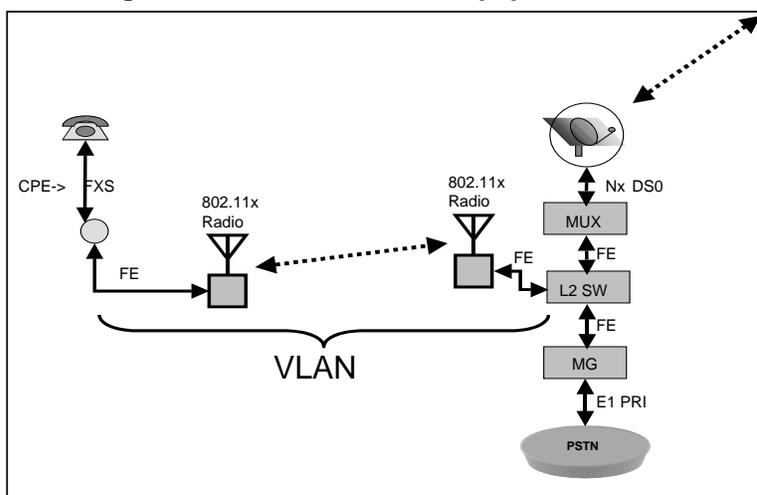
#	Sitio Principal (VSAT)	Sitio 2a jerarquía (802.11x)	Sitio 3a jerarquía (802.11x)	# líneas	Ancho de banda MAX canales + señalización (kbps) RTP	Ancho de banda MAX canales + señalización (kbps) cRTP
1	Santa Cruz del Quiché			24		
		Chiché	Chinique	11		
		Patsité		2		
		San Antonio Ilostenanco	San Pedro Jocopilas	15		
2	Chichicastenango			42	84	1194.9827
3	Zacualpa			9		586.2830
		Joyabaj	Pachalum	23	32	408.4571
4	San Andrés Sajcabajá			7		200.3974
		Canillá	Rep.San Bartolomé Jocotenango	7	14	182.1970
5	Uspantán			16		89.3896
		Chicamán		10	26	333.0486
6	Chajul			12		163.4005
		San Juan Cotzal		8	20	256.9807
7	Cunén			10	10	126.9038
				10		62.2616
8	Nebaj			21	21	265.8409
				21		130.4270
9	Sacapulas			14	14	177.0356
				14		86.8573
9	Ixcán			24	24	304.6982
				24		149.4912
Ancho de banda total (kbps)					3250.1446	1594.5875
Ancho de banda (Mbps)					3.174	1.557
Equivalente en TDM TS (DS0)					51	25

Se ve entonces que el ancho de banda máximo requerido al utilizar RTP es de 51 x DS0, mientras que el requerido para el caso cRTP es de 25. El servicio a contratar por espacio satelital deberá entonces cubrir los DS0s requeridos por la sub-red. Por esta razón es más conveniente escoger un esquema cRTP para optimizar los costos de la transmisión.

Claro que es necesario utilizar tablas de tráfico en Erlang para determinar el número de DS0s ó canales de 64kbps reales que se entregarán a la PSTN en cada MG. Tomando en cuenta el número de Erlang estimado en la tabla 4-4, podemos calcular el tráfico que fluirá desde la red VoIP a la PSTN.

Siguiendo esta metodología podemos analizar cada uno de los departamentos que se incluirán en la topología final. Para soportar la conectividad a terminales telefónicas convencionales, cada punto de presencia de la red deberá contar con un MG, y posiblemente se realice una interconexión intermedia a la PSTN. En el caso del ejemplo con El Quiché, es posible instalar un MG en un lugar estratégico donde podamos establecer una interconexión a la PSTN, y al mismo tiempo, podamos interconectar el mayor número de usuarios posibles, lo cual es particularmente útil en el caso que se generen llamadas destinadas a un punto de la PSTN que no abandone el departamento. A continuación se presenta una topología de interconexión de equipos en el sitio donde se efectúe la interconexión con la PSTN y la interconexión de sitios remotos:

**Figura 45 Interconexión de equipos en sitio MG**



En esta topología se utilizan VLAN para definir las conexiones a puntos remotos que terminan en un *Switch* capa 2. El tráfico que viaja hasta el MGC principal se deriva directamente del *Switch* capa 2, y éste lo entrega a su vez al equipo multiplexor de la estación. El tráfico que termina en la PSTN local debe ser discriminado por el equipo terminal CPE (en una VLAN distinta) para bajar al MG y a su vez ser entregado a la red PSTN local. La habilidad de poder discriminar entre estos dos tipos de tráfico debe de realizarse por el protocolo de señalización VoIP a utilizar.

De acuerdo con lo anterior, es posible construir una matriz de equipamiento que contenga datos sobre los MG, CPE, VSAT, *Switch* L2, y radios 802.11x requeridos, además de la cantidad de puertos E1, FE, FXS por nodo. Esta información será crucial a la hora de construir un RFI / RFP (de sus siglas en inglés *Request for Information / Request for Proposal*). Se muestra a continuación un ejemplo de la matriz de equipamiento para la red en cuestión:

**Tabla XVI: Matriz de equipamiento**

Dimensionamiento de equipo									
#	Municipio	MG	CPE	Puerto E1 PRI	Conexión FE	Puertos FXS	Radio 802.11x	Switch L2	VSAT
1	Santa Cruz del Quiché	1	0	2	9	24	3	2	1
2	Chiché	0	1	0	2	8	2	1	0
3	Chimique	0	1	0	1	3	1	0	0
4	Zacualpa	1	0	0	2	9	1	1	1
5	Chajul	0	0	0	2	12	1	1	1
6	Chichicastenango	1	0	2	7	42	2	2	1
7	Patzún	0	1	0	1	2	1	0	0
8	San Antonio Itotenango	0	1	0	2	7	2	1	0
9	San Pedro Jocopilas	0	1	0	1	9	1	0	0
10	Cunén	1	0	0	1	10	0	0	1
11	San Juan Cotzal	0	1	0	1	8	1	0	0
12	Joyabaj	0	1	0	2	21	2	1	0
13	Nejaj	1	0	1	1	21	0	0	1
14	San Andrés Sajcabajá	1	0	1	2	7	1	1	1
15	Uspantán	1	0	1	2	16	1	1	1
16	Sacapulas	1	0	1	1	14	0	0	1
17	San Bartolomé Jucotenango	0	1	0	1	3	3	0	0
18	Cantón	0	1	0	2	4	2	1	0
19	Chicamán	0	1	0	1	10	1	0	0
20	Ixcán	1	1	1	1	24	0	0	1
21	Pachalum	0	1	0	1	3	1	0	0
	<b>TOTALES</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>43</b>	<b>256</b>	<b>26</b>	<b>12</b>	<b>10</b>



## **5. LINEAMIENTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO**

### **5.1. Generalidades**

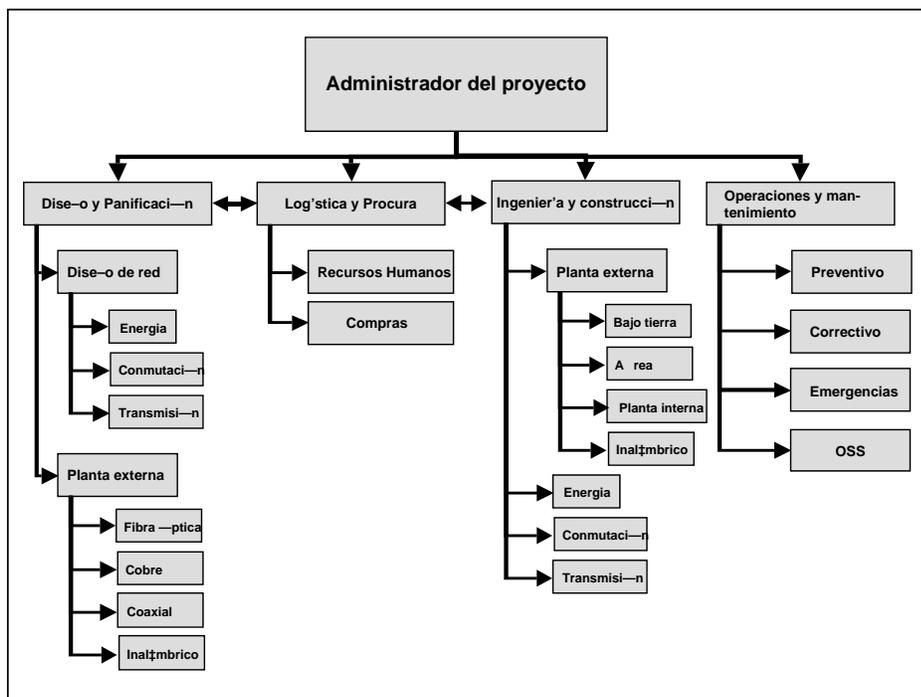
Una vez establecidos los criterios a considerar, sean conceptuales, ó relacionados con datos cuantitativos de los sistemas de transmisión, conmutación ó de la interacción del tráfico en la red, es necesario establecer un listado de pasos a seguir para lograr la implementación del proyecto. Esto es conocido como gerencia de proyectos e involucra a todas las áreas de una empresa, desde el personal de mantenimiento, obra civil, técnicos de turno, e ingeniería, hasta la gerencia financiera, administrativa y general. Este proceso posee muchos participantes, pero solamente un responsable: el gerente de proyectos.

Para implementar una nueva red de telecomunicaciones, cualquiera que sea su naturaleza, se debe proceder de forma ordenada, siguiendo una serie de pasos para lograr una exitosa implementación y lanzamiento al mercado. Debe considerarse la necesidad de personal experto en cada uno de los campos requeridos por el proyecto, considerando procesos administrativos, técnicos y de diseño para tener conocimiento de la mayoría de variables que jugarán un papel importante a la hora de llevar a cabo este proyecto. Se identifican las áreas donde se necesita la asignación de recursos, y son:

- Planificación y diseño:
- Logística y procura de materiales:
- Ingeniería e implementación:
- Operaciones y mantenimiento:
- Administración general del proyecto:

De acuerdo con esto el organigrama de los recursos a utilizar se puede establecer como en la siguiente figura:

**Figura 46: Organigrama del proyecto**



Fuente: IEC Deployment of Telecommunications Network

## 5.2. Administración del proyecto

La administración del proyecto es por definición, la aplicación de todas las habilidades, conocimiento, herramientas y técnicas en el desarrollo del proyecto. La persona que administre el proyecto deberá conocer y participar en el desarrollo de todas las actividades programadas con anticipación, deberá solventar problemas de ejecución y coordinará todas las actividades de instalación e implementación de la nueva red. En la red de voz sobre IP que se plantea, se utilizarán todos los recursos de una red de telecomunicaciones convencional teniendo el mínimo impacto sobre los servicios de voz y datos existentes.

Se utilizarán todos los medios de transmisión existentes hasta el punto de interconexión con el usuario final. La tarea del administrador se extiende desde la planificación previa y desarrollo de un cronograma, definiendo un organigrama específico para el proyecto conformando los grupos de trabajo que participarán en las distintas actividades, hasta definir las políticas y lineamientos a implementar en la administración de operaciones de la red.

El proyecto como tal puede ser dividido en 3 etapas:

- Etapa de planificación
- Etapa de implementación
- Etapa de operación

Todas las etapas serán supervisadas por el administrador del proyecto hasta el momento en que se inicia la operación de la red y quedan definidos los procesos y procedimientos de operación de la red.

Las áreas importantes para la administración del proyecto se listan a continuación:

#### **5.2.1. Integración del proyecto**

Comprende todos los procesos de planeación necesarios para coordinar las actividades del proyecto. El propósito primordial de la integración es el de lograr un esfuerzo coordinado de todos los recursos asignados al proyecto. De acuerdo con el organigrama general expuesto en la figura anterior, el administrador del proyecto tiene a su cargo a 4 sub-gerencias, y es con estas que deberá coordinar las actividades de cada etapa del proyecto.

#### **5.2.2. Administración del enfoque de actividades**

Comprende todos los procesos de control requeridos para que todas las actividades necesarias para completar el proyecto se lleven a cabo. El administrador del proyecto coordinará el trabajo con las 4 sub-gerencias a su cargo. Los pasos a seguir para la implementación general de la red son los siguientes:

##### **5.2.2.1. Recomendaciones para el diseño de la planta externa**

La división encargada del diseño e ingeniería de la planta externa debe determinar las rutas físicas a implementar para lograr la topología deseada, las tareas que tiene que realizar son las siguientes:

- Planeamiento de rutas.
- Llevar a cabo los trámites legales para establecer las rutas y establecer mecanismos de contingencia en caso haya que hacer modificaciones.
- Realizar un diseño total de toda la infraestructura.
- Preparación de diseños específicos de acuerdo con las necesidades del cliente final.
- Proveer un juego de planos y especificaciones de las obras a realizar.
- Determinar la lista de materiales y servicios requeridos para completar los trabajos y selección de soluciones en base a los requerimientos técnicos.

En el caso de la red de voz sobre IP, el impacto del diseño de la planta externa debe acomodar toda la infraestructura necesaria para acomodar los nuevos servicios. Si la entidad que provee el servicio ya tiene infraestructura implementada, hay que verificar los requerimientos de medios de transmisión para los nuevos equipos. Típicamente se utilizarán estaciones satelitales remotas, y enlaces inalámbricos en la capa de acceso, por lo que el diseño de la planta externa está limitado a la infraestructura de transporte. En donde se vuelve crítico es en el acceso a terminales POTS, ya que en muchos casos habrá que invertir en el diseño de enlaces de cobre a 2 hilos para llegar desde el equipo CPE hasta el aparato telefónico del usuario final.

### **5.2.2.2. Recomendaciones para el diseño de las centrales**

El diseño de la central es el proceso de determinar los equipos necesarios para hacer funcionar la red de acuerdo a los requerimientos primordiales. El ingeniero encargado del diseño se reponsabiliza por:

- Determinar el equipo a agregar a la central para satisfacer el requerimiento. En el caso de la red VoIP determinará los MGC, MG y equipos de transmisión que sean requeridos para alojar el nuevo tráfico.
- Determinará las dimensiones de los nodos de acceso y CPEs.
- Determinará la capacidad de la red de transmisión requerida para la solución.
- Verificar si el sistema de energía en cada central cumple con los requerimientos del equipo a instalar.

### **5.2.2.3. Recomendaciones para la construcción de la planta externa**

La construcción de la planta externa implica realizar trabajos con fibra óptica, cobre y medios inalámbricos. En el caso de la red de voz sobre IP se considerarán canales de transmisión diversos dependiendo la capa de la red de transmisión que se trabaje. Típicamente la red principal ó de transporte, estará constituida por anillos de fibra óptica y el acceso será por medios inalámbricos, o por hilos de cobre o cable coaxial.

Una potencial alternativa es la de utilizar sistemas DPLC, lo cual permite llegar a todas las comunidades que ya cuenten con fluido eléctrico. En este caso, se utilizarían las líneas de alta tensión como canales de comunicación, y otros dispositivos de acoplamiento para equipos terminales. Claro que para implementar una red DPLC se necesita combinar esfuerzos con las empresas de transporte y distribución del fluido eléctrico.

#### **5.2.2.4. Recomendaciones para la construcción de las centrales**

Abarca la instalación de todos los equipos especializados que se necesiten en cada punto de presencia para agregar la capacidad de conmutación y transmisión necesaria para cumplir con los requerimientos del proyecto. La instalación deberá realizarse por personal técnico especializado en cada tecnología a implementar.

El trabajo a realizar abarcará las capas de conmutación, transporte y acceso de la red e incluirá también los trabajos de ampliación de los sistemas de energía y obras civiles a realizar.

#### **5.2.2.5. Recomendaciones para el comisionamiento y puesta en servicio**

El proceso de comisionamiento comprende todas las pruebas necesarias en los equipos y medios de transmisión para certificar que los mismos están listos para formar parte de la red de producción.

El punto culminante de las pruebas es la firma de un protocolo de aceptación, el cual deberá ser presentado y aprobado antes de iniciar las instalaciones.

La persona responsable de revisar el protocolo de aceptación es el encargado de la Ingeniería y construcción.

### **5.2.3. Construcción del cronograma del proyecto**

El cronograma se elaborará al principio del proyecto y se administrará durante la realización del mismo. El mismo consiste en un diagrama de Gantt que se dividirá en períodos mínimos de semanas e involucrará la participación de todos los departamentos involucrados en la administración del proyecto. Deben considerarse todos los mecanismos de control para asegurarse que el cronograma se respete y mantenga dentro de un margen aceptable de error.

Existen muchos programas de computación especializados en la planificación y administración del proyecto. La persona responsable de crear y administrar el calendario es el gerente de proyecto.

El listado de actividades para el proyecto de implementación del sistema VoIP rural se puede representar como se muestra en la siguiente tabla:



### 5.3. Sistema numérico de decisión

El sistema numérico de decisión, toma en cuenta las características cuantitativas de las opciones técnicas relevantes a la toma de decisión. El primer criterio a evaluar será el tipo de CODEC a implementar, a continuación se muestran los diferentes tipos de CODEC y los valores cuantitativos recabados de los diferentes fabricantes. Dichos valores pueden variar de fabricante en fabricante, a continuación los más comunes:

**Tabla XVIII: Comparación cualitativa CODEC**

#	CRITERIO	CUANTITATIVO	CUANTITATIVO	CUANTITATIVO	CUANTITATIVO	CUANTITATIVO
		VAR1 (kbps)	VAR2 (ms)	VAR3 (MOS)	VAR4 (ms)	VAR6 (MIPS)
1	CODEC	Tasa de Bit	Retardo algorítmico	MOS	tiempo de intervalo	Utilización CPU
	G.711 PCM	64.000	0.225	4.10	20.00	0.0
	G.726 ADPCM	32.000	0.350	3.85	20.00	8.0
	G.728 LD-CELP	16.000	2.500	3.61	30.00	30.0
	G.729 CS-ACELP	8.000	25.000	3.92	20.00	15.7
	G.723 ACELP	5.300	30.000	3.65	38.46	17.5
	G.729A/B CS-ACELP*	8.000	15.000	3.70	20.00	10.0
	G.723.1A ACELP&MQ-CELP	5.300	67.500	3.90	38.46	17.5
	media arit	19.800	20.082	3.819	26.703	14.100
	desv. Est.	21.66	24.12	0.17	8.82	9.41
	Valor Ideal	más bajo	más bajo	más alto	20-40ms+	más bajo

\* Especificaciones de acuerdo con: ADT (TEXAS INSTRUMENTS)

En la tabla anterior tomamos en cuenta 5 variables cuantitativas que se denominan como críticas. Luego se tabulan los datos y se determina la proporcionalidad de las magnitudes de las variables para cada CODEC, dándole un puntaje de 100% a la variable que produzca los mejores resultados. A continuación se muestran los pesos relativos a la mejor muestra:

**Tabla XIX: Punteo de CODEC, relativo a la mejor muestra**

	punteo prop	Prop. Bitrate	Prop. Retardo	Prop. MOS	Prop. Interval	Prop CPU
1	G.711 PCM	89.11%	0.00%	99.67%	100.00%	100.000%
2	G.726 ADPCM	<b>91.35%</b>	50.00%	99.48%	93.90%	73.333%
3	G.728 LD-CELP	86.59%	75.00%	96.30%	88.05%	0.000%
4	G.729 CS-ACELP	86.95%	87.50%	62.96%	95.61%	47.667%
5	G.723 ACELP	93.64%	91.72%	55.56%	89.02%	41.667%
6	G.729A/B CS-ACELP	93.86%	87.50%	77.78%	90.24%	66.667%
7	G.723.1A ACELP&MQ-CELP	65.70%	91.72%	0.00%	95.12%	41.667%
	mejor muestra	<b>5.300</b>	<b>0.225</b>	<b>4.10</b>	<b>38.46</b>	<b>0.00</b>
	peor muestra	<b>64.000</b>	<b>67.500</b>	<b>3.61</b>	<b>20.00</b>	<b>30.00</b>

Lo siguiente es asignar un peso sobre el 100% de la decisión a cada variable crítica. A continuación se muestra una posible asignación de pesos a dichas variables:

**Tabla XX: Asignación de pesos para variables críticas**

Tasa de Bit	Retardo	MOS	Intervalo	Utilización CPU
<b>50%</b>	<b>25%</b>	<b>10%</b>	<b>10%</b>	<b>5%</b>

Luego, multiplicando estos datos con los obtenidos de la puntuación relativa a la mejor muestra obtenemos la siguiente tabla, que muestra el punteo del CODEC a seleccionar:

**Tabla XXI: Puntuación total de variables críticas : CODECs**

#	CODEC	Punteo	Punteo Bitrate	Punteo Retardo	Punteo MOS	Punteo Int.	Punteo CPU
1	G.711 PCM	45.12%	0.00%	24.92%	10.00%	5.20%	5.00%
2	G.726 ADPCM	68.13%	25.00%	24.87%	9.39%	5.20%	3.67%
3	G.728 LD-CELP	78.18%	37.50%	24.07%	8.80%	7.80%	0.00%
4	G.729 CS-ACELP	76.64%	43.75%	15.74%	9.56%	5.20%	2.38%
5	G.723 ACELP	80.73%	45.86%	13.89%	8.90%	10.00%	2.08%
6	G.729A/B CS-ACELP	<b>80.75%</b>	43.75%	19.44%	9.02%	5.20%	3.33%
7	G.723.1A ACELP&MQ-CELP	67.45%	45.86%	0.00%	9.51%	10.00%	2.08%

Con lo que se concluye que el CODEC más conveniente desde el punto de vista cuantitativo es G.729 A/B CS-ACELP, ó CODEC G.729 con sistema de detección de voz VAD, con un punteo total de 80.75%.

El resultado anterior expresa el punteo en cuanto a variables cuantitativas, en el caso de variables cualitativas el análisis es un poco más sencillo, consideraremos un valor de 100% para representar una variable compatible, 50% parcialmente compatible (quizás requiera algún desarrollo), y 0% para una variable totalmente incompatible. Las variables consideradas son las siguientes:

**Tabla XXII: Comparación de variables cualitativas**

#	CODEC	Punteo	CUALITATIVO				
			VAR1	VAR2	VAR3	VAR4	VAR5
1	G.711 PCM	60.00%	Estandarización	plon con redes de paqu	Soporta VAD/SD	soporta fax/modem	Indep. De Trama
2	G.726 ADPCM	60.00%	100%	0%	0%	100%	100%
3	G.728 LD-CELP	20.00%	100%	0%	0%	0%	0%
4	G.729 CS-ACELP	40.00%	100%	50%	0%	50%	0%
5	G.723 ACELP	30.00%	100%	50%	0%	0%	0%
6	G.729A/B CS-ACELP	60.00%	100%	50%	100%	50%	0%
7	G.723.1A ACELP&MQ-CELP	50.00%	100%	50%	100%	0%	0%

Los pesos asignados para estas variables son:

**Tabla XXIII: Pesos asignados a variables cualitativas**

Estandarización	Soporte VAD/SD	soporte fax/modem	Indep. De Trama
35%	50%	10%	5%

Entonces la tabla de punteos se tabula de la siguiente forma:

**Tabla XXIV: Punteo final de variables cualitativas**

#	CODEC	Punteo	Punteo Est.	Punteo VAD	Punteo Fax-m	Punteo Indep
1	G.711 PCM	50.00%	35.00%	0.00%	10.00%	5.00%
2	G.726 ADPCM	50.00%	35.00%	0.00%	10.00%	5.00%
3	G.728 LD-CELP	35.00%	35.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4	G.729 CS-ACELP	40.00%	35.00%	0.00%	5.00%	0.00%
5	G.723 ACELP	35.00%	35.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6	G.729A/B CS-ACELP	50.00%	35.00%	10.00%	5.00%	0.00%
7	G.723.1A ACELP&MQ-CELP	45.00%	35.00%	10.00%	0.00%	0.00%

Promediando los punteos obtenidos en el análisis con variables cuantitativas y cualitativas obtenemos el punteo final para seleccionar nuestro sistema CODEC:

**Tabla XXV: Punteo final de sistemas CODEC**

#	CODEC	Punteo
1	G.711 PCM	47.56%
2	G.726 ADPCM	59.06%
3	G.728 LD-CELP	56.59%
4	G.729 CS-ACELP	58.32%
5	G.723 ACELP	57.87%
6	G.729A/B CS-ACELP	<b>65.38%</b>
7	G.723.1A ACELP&MQ-CELP	56.23%

Por lo que podemos concluir que el CODEC G.729 A/B CS ACELP es el más indicado de acuerdo con los datos técnicos obtenidos. Este método es presentado como una sugerencia para ayudar al grupo encargado de tomar decisiones sobre tecnología, y las variables críticas de la toma de decisión son escogidas de acuerdo al criterio del ingeniero a cargo del proyecto.

Dado a la variabilidad de especificaciones técnicas de los fabricantes que se investigaron, no es posible evaluar de forma tan cuantitativa todas las soluciones, por lo que es más conveniente hacer una comparación independiente de los factores cualitativos de los productos. Esto es porque muchos productos tienen características superiores a otros pero en muchos casos existen limitantes en cuanto a la estandarización, soporte técnico, confiabilidad de los equipos e incentivos técnicos ó financieros ofrecidos por los fabricantes.

#### **5.4. Procedimientos y requisitos legales**

Como hemos visto hasta ahora, el proceso general para la implementación de una red de telecomunicaciones es bastante complejo y demanda la mejor coordinación posible entre varias disciplinas de la ingeniería y la administración. Dentro de los procesos considerados en el cronograma de actividades están la elaboración de los planes de frecuencias radioeléctricas y de numeración que culminan en la solicitud formal a la Superintendencia de Telecomunicaciones SIT de estas de los títulos de usufructo de frecuencias y de la asignación de rangos de numeración. Los detalles de los procedimientos a seguir pueden encontrarse en la página de Internet de la superintendencia (<http://www.sit.gob.gt>).

Como requisitos legales para con la SIT, el operador debe inscribirse como "operador de red comercial", o de "red local", así como solicitar los recursos de señalización y cumplir con los requisitos especificados en la página de la SIT. Esto se debe realizar por operadores nuevos no inscritos. La magnitud de los costos involucrados en estas operaciones puede ser encontrado en el documento de resolución SIT-385-97.

#### **5.4.1. Plan de frecuencias**

El plan de frecuencias debe obedecer a las necesidades de la red en todas las áreas geográficas donde se requieran instalar sistemas inalámbricos. Al utilizar enlaces 802.11x se implementan enlaces en frecuencias de 2.4GHz (WLAN) y 5.4 GHz (HyperLAN) de largo alcance. Dado a que en nuestro país las bandas de frecuencia mencionadas anteriormente, requieren licenciamiento, es necesario efectuar el trámite de derecho de utilización, ó negociar con la empresa acreedora de estas bandas para que permita su utilización en las áreas geográficas de interés. Nuevamente, los procedimientos para efectuar los trámites, se pueden encontrar en la página de Internet de la SIT.

#### **5.4.2. Plan de numeración**

Los planes de numeración a considerar deben cumplir con lo descrito en la recomendación UIT-T E.164, y deben acoplarse a lo establecido por la SIT. Los números a asignar a los usuarios finales deben corresponder a los rangos de numeración geográficos definidos por la SIT.

El sistema debe también proveer la funcionalidad de los servicios de numeración no geográfico, de 3 dígitos para soportar los servicios de asistencia pública 12X (bomberos, policía, etc.), como también permitir la interconexión con otros operadores.

### **5.4.3. Elaboración de RFI**

La RFI, no es más que la solicitud de información a los proveedores seleccionados, sobre las especificaciones técnicas, que detallen la funcionalidad, modularidad y capacidad de los equipos relacionados con la aplicación de cada proyecto. La RFI sirve de punto de partida para seleccionar, técnicamente, los equipos que posean las características más favorables.

### **5.4.4. Elaboración de RFP**

Una vez, se cuenta con toda la información necesaria para emitir una justa comparación entre opciones de diferentes proveedores se seleccionan los mejores 2 ó 3, a los cuales se les entregarán las bases de licitación o simplemente una solicitud de cotización de equipos que cumplan con las especificaciones técnicas necesarias. La RFP puede ser tan compleja o sencilla como se quiera.

## **5.5. Evaluación del proyecto**

El proceso de evaluación del proyecto se divide en tres niveles:

- Perfil o visión macro
- Estudio de prefactibilidad (anteproyecto)
- Proyecto definitivo

El trabajo presentado se enfoca primordialmente en el primer nivel, o Perfil. El cual se basa en la información existente, el juicio común y la experiencia con las aplicaciones discutidas. En términos monetarios no se enfoca en investigaciones de campo para determinar los cálculos específicos de las inversiones necesarias.

El anteproyecto sería un paso lógico posterior al la consideración de los criterios expuestos en este trabajo, el cual profundiza en la investigación de fuentes secundarias y primarias de investigación de mercado, determinando al 100% la tecnología a utilizar y los costos relacionados con la implementación del proyecto. El proyecto definitivo, considera todo lo expuesto en el anteproyecto, sólo que con mayor detalle.

De manera general, se definen los rubros que contemplan gastos y las proyecciones de suscriptores. Para realizar el estudio de estos rubros, se deben tomar en cuenta 4 puntos, que son:

- Caracterización del bien o servicio: tiene que ver con el producto que se promocionará. En el caso de la red VoIP, el producto es un servicio prestado a ciertas comunidades, donde el conocimiento de productos similares es limitado.
- Análisis de la demanda y del consumidor: Para iniciar el proceso de comercialización de un servicio nuevo, es necesario caracterizar a los usuarios actuales y potenciales. Es importante conocer sus preferencias y hábitos de consumo para definir una estrategia de promoción.

- Estudio de la competencia y de la oferta: Implica la recolección y análisis los datos sobre las políticas, tarifas y planes ofrecidos por los proveedores de servicios iguales o similares a los que se planea ofrecer.
- Comercialización y definición de tarifas: Definirá las condiciones de la oferta hacia los usuarios, dentro de las cuales se definirán los planes de post y pre-pago, y las políticas de crédito aplicables.

Los conceptos que rigen la forma en que se construye el análisis financiero, posterior a la definición de estos puntos, se pueden extraer de libros de texto de evaluación de proyectos, y dado a la cantidad de variables a considerar dentro de una implementación real, no se entrará en detalle en lo referente a este análisis.

## CONCLUSIONES

1. Teniendo en cuenta los datos obtenidos en el desarrollo de este trabajo, la implementación de una red VoIP para el área rural, aporta beneficios técnicos y económicos que hacen que una red integrada de voz y datos sea más atractiva que implementar un sistema de telefonía convencional.
2. Las principales ventajas de la implementación de una solución de voz sobre IP son: la optimización de los recursos de transmisión, y la integración de múltiples servicios en una misma red de voz y datos.
3. El tráfico de señalización en la red VoIP, requiere de protocolos de control de transmisión que garanticen la comunicación de mensajes entre los nodos y unidades terminales de red.
4. El tráfico de audio sobre la red IP requiere de protocolos de red que introduzcan el mínimo retardo, aunque no cuenten con altas prestaciones de control de transmisión.
5. En condiciones de holgura de capacidad de transmisión de red IP, el mayor retardo medido de extremo a extremo es ocasionado, por los sistemas CODEC en cada extremo, por esta razón, la selección del CODEC adecuado, tendrá un impacto significativo en la calidad de la comunicación ofrecida.

6. Para que la red IP transporte adecuadamente múltiples servicios conmutados es necesario proveer a los elementos de red, de los protocolos que garanticen un medio de transmisión adecuado para el transporte de servicios de voz, ya sea implementando RSVP-TE o *DiffServ*.

## RECOMENDACIONES

1. Al implementar una red de VoIP, es conveniente utilizar equipos y *software* que cumplan con estándares internacionales que estén aprobados por entidades como UIT-T, IETF, ANSI, ETSI, etc., ya que existen diversidad de soluciones basadas en estándares emergentes o en soluciones propietarias, para los cuales, el soporte y conocimiento está limitado a las empresas que las desarrollan.
2. Es conveniente utilizar los protocolos de red y de transporte que requieran el menor encabezado posible para optimizar los recursos de la red de transmisión. De ser posible se debe implementar protocolos con compresión de encabezado, como cRTP en los enlaces de última milla, y satelitales, para la optimización de costos.
3. Es conveniente que la red de voz sobre IP, posea un nivel adecuado de gestión, tanto a nivel de elemento como de red, permitiendo así mejorar los tiempos de respuesta a incidencias.
4. Es conveniente que para implementar el proyecto se sigan los lineamientos técnicos y administrativos expuestos por organizaciones internacionales como IEC y la UIT-T, teniendo en cuenta los factores socio-económicos que apliquen en la región de implementación.



## BIBLIOGRAFÍA

"A Wireless IP Phone System for Rural Applications" ITU/KDD.

[http://www.itu.int/ITU-D/fg7/case\\_library/documents/kdd001.html](http://www.itu.int/ITU-D/fg7/case_library/documents/kdd001.html).

Mayo de 2003.

"Voice and Fax over Internet Protocol". International Engineering Consortium

IEC / Texas Instruments. <http://www.iec.org> (Web ProForum Tutorials).

Marzo de 2003.

"Voice Telephony over Asynchronous Transfer Mode VtoA" International

Engineering Consortium IEC /Tera Bridge Inc.,

<http://www.iec.org> (Web ProForum Tutorials).

Enero de 2003.

Evans, Sahra. *VoIP Standards*, Telsyte, 1999

<http://www.telsyte.com.au/standardswatch/h323.htm>

Julio de 2003.

Yletyinen, Tomi. *The Quality of Voice over IP*. Tesis MSc. Finlandia, Helsinki

University of Technology. 1998.

<http://www.hut.fi>

*Deployment of Telecommunications Networks*, International Engineering

Consortium IEC,

<http://www.iec.org>

Estadísticas del mercado de telecomunicaciones en Guatemala. SIT  
Superintendencia de telecomunicaciones de Guatemala.

<http://www.sit.gob.gt>

Abril 2004

Seger, Jörn. *Modelling Approach for VoIP Traffic Aggregations for Transferring  
Tele-traffic Trunks in a QoS enabled IP-Backbone Environment*. Tesis MSc  
Alemania. Universidad de Dortmund.

<http://www.uni-dortmund.de>

Enero 2004.

*Synchronization for Voice over IP Networks*

2000 Symmetricom

<http://www.symmetricom.com>

Enero 2004.

Anderson, John. *Addressing VoIP Speech Quality with non-Intrusive  
Measurements*, Agilent Technologies. 2004

<http://www.agilent.com>

Marzo 2004.

*User Manual of Advanced VoIP Billing System. APEX Billing Systems*

<http://www.apexvoice.com>

Marzo 2004.

Douskallis, Bill. *IP Telephony – The integration of robust VoIP Services*.

Estados Unidos: Prentice Hall PTR 2000.

Collins, Daniel. **Carrier Grade Voice over IP**. Segunda Edición.  
Estados Unidos: McGraw-Hill Networking 2003.

Davidson, Johnathan, James Peters. **Voice over IP Fundamentals**  
Estados Unidos: Cisco Press 2000.

Held, Gilbert. **Voice and Data Internetworking**, Estados Unidos:  
McGraw Hill 2000.

Strother, S.C. **Telecommunications Cost Management**, Estados Unidos: CMP  
Books 1999.

Ohrman, Frank, Frank D. Ohrman Jr. **Softswitch Architecture for VoIP**.  
Estados Unidos: McGraw-Hill Professional 2002.

Douskallis, Bill. **Putting VoIP to Work: Softswitch Network Design and  
Testing**. Estados Unidos: Prentice Hall PTR 2002.

Miller, Mark. **Voice over IP Technologies: Building the converged Network**.  
2ª edición. Estados Unidos: Wiley 2000.

Khasnabish, Bhumi. **Implementing Voice over IP**. Estados Unidos: Wiley-  
Interscience 2003.

Swale, Richard. **Voice over IP: Systems and Solutions**. Estados Unidos:  
Institution of Electrical Engineers, 2003.

Kumar, Balaji, Jay Ranade. **Broadband Communications**, Estados Unidos:  
McGrawHill 1998.

Taub, Herbert, Donald Schilling. **Principles of Communication Systems**.  
2ª Edición Estados Unidos: 1986.

**Manual de teoría del tráfico telefónico tablas y diagramas.**  
2ª Edición. Alemania: SIEMENS *Aktiengesellschaft-München*, 1980.

Sinnereich, Henry, Alan. B. Johnston. **Internet Communications using SIP**.  
Estados Unidos: Wiley *Computer Publishing*

Zea, Miguel Ángel, Héctor S. Castro. **Formulación y evaluación de proyectos**.  
SEGEPLAN / OEA s.l., s.e., s.a.

Baca, Gabriel. **Evaluación de Proyectos**, 4ª edición. s.l. McGraw-Hill s.a.

## **ANEXOS**

## ANEXO I

- **Señalización telefónica**

### Señalización central-usuario:

La señalización analógica se utiliza aun para la interconexión del lazo local desde una central CTS a los abonados de telefonía básica POTS. Esta señalización se basa en señales de corriente directa CD para indicar cambios de estado del aparato suscriptor ya sea que se encuentre en estado de *off-hook* (descolgado), y *on-hook* (colgado). Existen dos tipos de señalización de CD:

- **De lazo de suscriptor (*Subscriber loop*):** Utiliza dos alambres de cobre, para transmitir estados de cambio así como también las señales de voz entre el suscriptor y la central.
- **Recepción y Transmisión (*recEive and transMit E&M*):** Utiliza cuatro alambres de cobre. Dos alambres están dedicados a la transmisión de señales de voz y los dos restantes se utilizan para la señalización: Uno denominado *E Lead* y otro *M Lead*. Los cambios entre las terminales E y M identifican si el suscriptor esta *on-hook* o si esta en *off-hook*.
- **Señalización analógica en banda (*in Band*) y fuera de banda (*Out of Band*):** Este tipo de señalización analógica utiliza tonos de frecuencias específicas dentro de la banda audible desde 0 a 4kHz. Existen tres tipos:

- **Frecuencia sencilla: SF (*Single Frequency*):** Utiliza un tono de 2400 Hz para indicar a la CTS que la conexión esta inhabilitada (*on hook*) y 0Hz para indicar que esta habilitada (*off-hook*)
- **Multi-Frecuencia: MF (*Multi Frequency*):** Utiliza múltiples frecuencias para la notificación de eventos más allá de la información de conexión y desconexión. Los eventos reportados pueden ser sobre el numero a discar, reserva de conexión, (*seizure*), liberación de conexión (*release*), respuesta a conexión (*answer*), confirmación de conexión (*acknowledge*).
- **Multi-Frecuencia de doble tono: DTMF (*Dual Tone MF*):** Se utiliza para transmitir los dígitos del numero telefónico a marcar. Se reconocen los números del 0 al 9 incluyendo caracteres \* y #.
- **Señalización *Loop Start* y *Ground Start*:**La señalización de inicio de lazo o *Loop Start* se basa en la iniciación de la llamada por la creación y cierre del lazo local desde el usuario a la central, este es el método que más se utiliza en la actualidad. La señalización de inicio de lazo a tierra o *Ground Start* provee un mecanismo mas inteligente en el reconocimiento de conexiones y desconexiones y se tienen mecanismos de detección de corriente para determinar quien ha iniciado la llamada.

### Señalización Digital entre centrales

La señalización digital es utilizada típicamente entre centrales o entre centrales y terminales digitales (tales como una PABX o terminales ISDN). Estos enlaces se denominan troncales digitales y proveen un a mejor alternativa que los enlaces analógicos, en términos de su distribución, prestaciones y servicios.

Las troncales digitales son el medio típico de enlace entre centrales, y es a través de ellas que el equipo de conmutación se enlaza con la red de transmisión.

Las troncales digitales viajan a través de interfaces conocidas como T1 (ANSI) y E1 (ETSI).

- **Señalización asociada al canal: CAS:** Aunque existen muchas variaciones de CAS (*Channel Associated Signalling*), las cuales pueden operar en ambientes analógicos o digitales, se describirán solamente los tipos principales y mas usados.
- **CCITT No.5:** Esta vigente desde 1960 cuando se utilizaba para la supervisión de enlaces internacionales. Esta diseñada para operar en troncales analógicas.
- **Bell System MF / R1:** El sistema Bell MF fue primeramente implementado en la década de los años 50, y aun es utilizada en algunas partes de Estados Unidos y otros países, es prácticamente idéntica a la señalización R1. Su funcionamiento es muy simple, y cuenta con 2 estados de funcionamiento en la facilidad del lazo local: *on-hook* y *off-hook* para indicar estados de colgado y descolgado de la unidad terminal. Utiliza tonos de multifrecuencia MF para señalar estos estados lógicos. La señalización R1 se especifica en la ITU-T con el documento Q.310 y Q.332.
- **R2:** Es un sistema CAS desarrollado en los años 60 y se utiliza todavía en países de Europa, Latinoamérica, Australia y Asia. Utiliza un código de multifrecuencia o MFC. La versión internacional se conoce como CCITT-R2.

R2 opera en facilidades de 2 y 4 hilos, aunque como esta ideada para enlaces no muy largos, no funciona sobre enlaces TASI y enlaces por satélite.

- **Señalización de canal común SS7: CCS**

Fue desarrollada en los años 70 por la ITU-T, como una versión mejorada de la SS6 de los años sesenta. Ambas son sistemas de señalización de canal común.

La función primordial de la señalización SS7 es la de proveer un sistema moderno, mas eficiente para enrutar y procesar los datos utilizados en el control, manejo y terminación de llamadas en una red de conmutadores. La misión de SS7 era la de proveer un sistema de protocolos comunes para la interconexión de centrales locales, nacionales e internacionales.

La SS7 actual, cuenta con servicios que van mas allá del control de llamadas entre centrales. Dentro de los servicios avanzados de SS7 figuran: Transacciones de base de datos, operaciones de red, funciones ISDN, etc.

Dado que SS7 es el protocolo estándar para las aplicaciones de telefonía actuales, todo sistema de servicios de voz que necesite ser interconectado con la red publica de teléfonos PSTN deberá acoplarse a lo especificado por este sistema, en el caso de un sistema de voz sobre IP implementado a manera que pueda interactuar con el sistema de telefonía publica, deberá integrarse a SS7 para poder ser funcional.

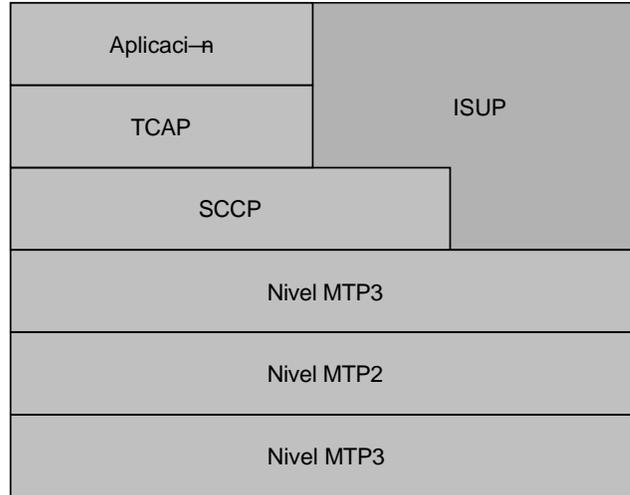
SS7 provee una plataforma común para la señalización, intercambio de mensajes e interfaces con las cuales tienen que interactuar toda futura aplicación de telefonía.

A pesar de ser considerada el conjunto de protocolos estándar para la telefonía actual, SS7 no es un conjunto de protocolos generalizados para todo el mundo. En Estados Unidos existe una versión, SS7- ANSI/*BellCore* y Europa su equivalente ETSI. El estudio profundizara mas en el estándar ETSI que es el mas usado en países de Latinoamérica.

SS7 es importante para los sistemas de voz sobre IP, ya que en la mayoría de los casos, el punto de interconexión entre una red emergente y la PSTN será compatible con SS7. Ambos lados de la red deberán comprender y hablar SS7 para lograr la interconexión.

El protocolo de SS7 se puede comprender mejor con un modelo de capas similar al utilizado para explicar el modelo de red de 7 capas OSI. A continuación el modelo de capas SS7:

**Figura 47: Modelo de capas del protocolo SS7**



**Fuente: Daniel Collins. *Carrier Grade VoIP*, P.316**

Los primeros tres niveles del modelo conforman la parte de transferencia de mensajes, (MTP= *Message Transfer Part*).

El primer nivel MTP maneja lo concerniente a las señales en los enlaces físicos entre nodos. Los enlaces físicos se dividen en dos tipos:

- De Banda Ancha: Típicamente son señales de 2Mbps y 1.5Mbps.
- De Banda Angosta: Aplican canales de 64 kbps o 56 kbps.

El nivel 2 de MTP, se encarga de verificar la transmisión de los mensajes de un nodo SS7 a otro. Los nodos SS7 se denominan terminales de señalización. MTP 2 se encarga de transmitir los mensajes de las capas superiores, como también sus propios mensajes denominados:

- LSSU (*Link Status Signal Unit*): Sirve para corroborar el estado de la transmisión de mensajes de un nodo a otro, realizando un chequeo de alineamiento.
- FISU (*Fill in Signal Unit*): Se interpretan como mensajes de relleno entre cada LSSU para recibir confirmaciones de recepción de mensajes.

MTP 3, maneja la señalización del sistema como un todo, y determina los caminos que determinado mensaje debe seguir para llegar a su particular nodo destino. Como complemento a esta función MTP 3 maneja también, el enrutamiento y reenrutamiento de mensajes durante la operación normal y en caso de falla determina la mejor ruta posible para un determinado mensaje o grupo de mensajes, según patrones de congestión de red.

A partir de las capas superiores de MTP, se puede elegir entre dos alternativas: ISUP, que es la capa que provee el protocolo de señalización para aplicaciones ISDN, y es el protocolo mas utilizado para el control de llamadas en la red; la otra alternativa que se tiene es SCCP (*Signalling Connection Control Part*), que provee conexiones permanentes (estáticas) y no-permanentes (dinámicas) a la red de señalización. SCCP provee de los medios para direccionar entre entidades que al presente no conocen sus direcciones (*point codes*), dicha señalización se conoce con el nombre de "*Global Title Addressing*", que permite que la red "aprenda" direcciones en el nodo que origino la llamada y en cualquier nodo intermedio hasta el nodo que termina la llamada.

Mas arriba, dentro del modelo SS7 se encuentra TCAP (*Transaction Capabilities Application Part*), el cual se dedica a administrar las transacciones y procedimientos entre aplicaciones remotas. TCAP es un protocolo de señalización con conexiones no-permanentes que provee servicios a muchas aplicaciones para redes inteligentes y móviles.

## **Elementos de la red SS7**

La red SS7 separa los elementos típicos de una red de voz y señalización. La red de señalización cuenta con los siguientes elementos:

- SSP: *Service Switching Point*
- STP: *Signal Transfer Point*
- SCP: *Service Control Point*

Los cuales se interconectan mediante diversos tipos de enlaces. (Ver figura 1-4: Topología general de la red C7).

Los elementos de la red de señalización se identifican por medio de una dirección o código (*point code*), necesarios para el enrutamiento de los mensajes a través de la red física.

**SSP:** Son considerados como dentro de esta categoría a todas las centrales que originan manejan y terminan trafico de voz dentro de una red. Manejan conexiones basadas en circuitos estáticos en los trayectos de comunicación entre otras centrales SSPs.

También manejan conexiones basadas en conmutación de paquetes, exclusivamente para solicitar información a sistemas de base de datos, que guardan información dentro de la red, por ejemplo las tablas de números telefónicos de un sector determinado de la ciudad, etc.

Las SSP, pueden actuar de manera autónoma en cuanto al proceso de conexión de llamadas entre números convencionales. Para casos en los cuales el número llamado es un servicio 1-800, 900 o 888 que son números especiales, las SSP requieren de la intervención de otros elementos de la red SS7.

**STP:** Las STP son la parte fundamental de SS7. Las STP son en sí, la parte de la red que conmuta los mensajes de la señalización, basándose en las direcciones de terminación e información de enrutamiento de sus direcciones (*point code*). Las SSP pueden interconectarse mediante STP sin requerir enlaces directos entre sí. Las STP pueden enrutar mensajes basados en circuitos conmutados (*circuit-based*) o bien mensajes por paquetes dinámicos, en el caso de las transacciones de base de datos.

Otra función de las STP, es la de medir el tráfico y utilización de las troncales en la red. Generación de estadísticas de eventos en la red y utilización de la misma, así también las estadísticas de la señalización en sí, cuantos mensajes han sido transmitidos, y de que tipo, etc.

**SCP:** Es la interfaz entre la red y las bases de datos donde la información de enrutamiento se almacena en mensajes por paquetes dinámicos. Las bases de datos poseen interfaces X.25 hacia las SCP, las cuales traducen entre mensajes X.25 y SS7.

Las bases de datos mas comunes en SS7 son:

- Base de datos para números 800, en la cual la información de enrutamiento es la terminación del numero en si.
- Base de datos de Información de Línea (LIDB=*Line Information Data Base*): Provee información acerca del suscriptor, ya sea para validación de servicios de tarjeta pre-pago, números de PIN, autenticación y tarificación.
- Base de datos de transportabilidad de numero local (LNPDB=*Local Number Portability Data Base*): Provee el numero de localización (LRN) o *Localization Routing Number*.
- Registro de Localización Base (HLR=*Home Location Register*): Utilizado en sistemas celulares para localización actual del teléfono, tarificación e información del suscriptor.
- Registro de Localización de Visitante (VLR=*Visitor Location Register*): Utilizada en redes celulares para guardar la información acerca del servicio de "*Roaming*" fuera de la red madre. La VLR comunica hacia la HLR para identificar la posición actual del suscriptor.

## Enlaces de Señalización

En SS7, es común y hasta necesario, en ciertos casos, que la señalización tome caminos distintos al tráfico que esta supervisando. Es aquí donde se introduce el concepto de señalización asociada al canal (por ejemplo CAS) y la no asociada al canal. La primera utiliza el mismo enlace ya sea de banda angosta como un canal de 64kbps, hasta un medio canalizado, por ejemplo un E1 (2Mbps = 32x64kbps). En realidad existen tres modos de señalización:

- Asociada al canal
- No-asociada al canal
- Quasi-asociada al canal

En muchos casos la señalización tiene caminos totalmente distintos al tráfico de voz. Los canales de voz tienen por lo general un trayecto mas directo que la señalización, por su naturaleza dependiente de la buena sincronización para preservar la calidad de la misma. Esta es la forma de transmisión de señalización mas usada dentro de SS7.

Existen seis tipos de enlaces entre los elementos de red SS7:

- Enlaces Tipo A: Se conocen también como "*A Links*", y proveen la interconexión entre terminaciones de señalización (SSP o SCP) y las STPs. En el proceso las STPs enrutan la señalización enviada por las SSP o SCP hacia su destino.

- Enlaces Tipo B: Son enlaces entre dos parejas de STP operando en un mismo nivel de jerarquía. Operan típicamente en grupos de 4 para proveer el mejor camino para los mensajes entre STPs. Se les conoce también con el nombre de "*Bridge Links*".
- Enlaces Tipo C: Son enlaces cruzados que interconectan a las STP con cada pareja para proveer redundancia. Se conocen también como "*Cross Links*".
- Enlaces Tipo D: Son enlaces en diagonal utilizados para la interconexión de STP de un nivel de jerarquía a otro. Se presentan típicamente en grupos de 4, de igual forma que los enlaces tipo B. Se conocen con el nombre de "*D Links*".
- Enlaces Tipo E: Son usados en la interconexión de SSP con un STP alternativo, es decir que la conexión no se realiza al STP inmediato sino a otro remoto. Estos enlaces se utilizan solo cuando hay falla, o existe excesiva congestión en los enlaces principales. Se conocen con el nombre de "*Extended Link*".
- Enlaces Tipo F: Estos enlaces interconectan directamente los SSP cuando no existe disponibilidad de conectar a un STP. Este es el único caso, en que la señalización viaja en el mismo enlace que el tráfico de voz.

## ANEXO II

- **Conceptos de ISDN**

La red de servicios digitales integrados (ISDN), como esta definida en las recomendaciones "I" de la ITU, ha estado vigente desde los años 80. ISDN es compatible con SS7 en la capa ISUP (*ISDN User Part*), del protocolo para poder interactuar con la red SS7 y tener así acceso a los servicios como la interconexión de PBX y la creación de redes privadas virtuales (VPN) para los servicios de voz.

ISDN es un esquema de provisión de servicios basados en la conmutación de circuitos y ofrece los servicios siguientes:

- *Bearer Services*
- *Teleservice*
- *Supplementary Services*

Dos tipos de canales de comunicación se utilizan en ISDN:

- Canal B: utilizados para llevar información del usuario, se definen como canales de 64kbps.
- Canal D: utilizados para llevar la señalización y típicamente se trata de un canal de 16kbps.

En ISDN se forman entonces dos tipos de interfaces para entregar a la red de transmisión:

- BRI: O interfaz de tasa básica (*Basic Rate Interface*), esta definida por dos canales B y un D, por esto utiliza la nomenclatura de 2B+D. Las interfaces BRI se utilizan en aplicaciones empresariales de bajo perfil. Los detalles de esta interfaz se exponen en el documento I.411 de las recomendaciones ITU-T.

Las interfaces BRI se clasifican a su vez en tres puntos de referencia los cuales especifican el medio de transmisión, tipo de interfaz y conectores físicos de los dispositivos terminales en el lazo local:

- Interfaz U: Indica las características del canal de transmisión de la interfaz BRI. Consiste en un lazo local de 2 hilos de cobre operando a una velocidad de 160kbps.
- Interfaz S/T: Provee de una interfaz de lazo local a 4 hilos de cobre para puntos terminales compatibles con ISDN a una velocidad de 144kbps.
- Interfaz R: Provee una conexión para dispositivos no compatibles con ISDN. Utiliza interfaces RS-232 (Equivalente ITU V.24 y V.28), e interfaces V.35.

Las funciones de ISDN que permiten a estas interfaces acceder a la red son las siguientes:

- NT1: Función de terminación de red 1 (*Network Termination 1*), es la interfaz provista por la empresa proveedora de los servicios ISDN que interconecta al dispositivo terminal. La interfaz NT1 termina en una interfaz de 4 hilos del tipo S/T.

- TE1: Son los dispositivos compatibles con ISDN que se conectan directamente al conector S/T en la NT1.
  - TE2: Son los dispositivos no-compatibles con ISDN requiriendo adaptadores terminales TA (*Terminal Adapter*)
  - TA: Los adaptadores terminales proveen las interfaces para los TE2. Pueden ser RS-232, V.35, RS-449 y X.21.
- 
- PRI: O Interfaz de tasa primaria (*Primary Rate Interface*). Define dos tipos de interfaces: T1 (1.544 Mbps) y E1 (2.048 Mbps). En el caso de un T1 se refiere a un sistema 23B+D y en el caso E1 es un 30B+D. Las interfaces PRI, al igual que las BRI, proveen tres puntos de referencia que especifican las características de los canales de transmisión:
  - Interfaz U: Indica las características de una interfaz PRI de 4 hilos de cobre operando a velocidades de 1.544Mbps (T1) y 2.048Mbps (E1).
  - Interfaz T: Provee las especificaciones de un canal PRI para la terminación de una interfaz tipo 2 (NT2).
  - Interfaz NT2: Provistas típicamente por equipos PBX. Este tipo de interfaz provee las funciones para el manejo de funciones de las Capas 2 y 3 de ISDN, así como también funciones de multiplexación, conmutación, terminación de interfaces y mantenimiento.

- Protocolos L2 y L3: Los protocolos de ISDN L2 y L3 son conocidos también como el sistema de señalización digital No.1 de suscriptor DSS1 (*Digital Subscriber Signalling System No.1*). L2 provee los mecanismos para establecer conexiones seguras y libres de errores. L3 provee los mecanismos para el establecimiento de llamadas, control y acceso a los servicios. Los protocolos que maneja L2 son Q.920 y Q.921, mientras que L3 maneja los protocolos Q.930, Q.931 y Q.932.

## Anexo III

- **Conceptos Básicos de sistemas CODEC**
  
- **Tipos de codificadores / decodificadores de voz**

Existen varias opciones en cuanto a la selección de CODECS para transformar las señales analógicas de la voz en una cadena de información digital. El propósito de cada una de las técnicas que se describen a continuación, es de lograr un punteo alto en lo referente a la ITU-T P.800, logrando un balance entre calidad de voz y una tasa atractiva de compresión. A continuación los métodos principales:

- **Sistemas PCM G.711:** Es el sistema mas comúnmente utilizado hoy. Es el método preferente de todos los sistemas de voz conmutados por circuitos. El sistema muestrea las señales a 8000Hz siguiendo el teorema de Nyquist, y tomando en cuenta un rango de frecuencias de voz que va desde los 300 Hz hasta los 3800Hz (típicamente), por lo cual este sistema toma en cuenta una frecuencia de voz máxima de 4kHz. Utiliza además un sistema de cuantización no uniforme que hace que los bits requeridos por la señal sean 8 y no los 12 necesarios para la cuantización uniforme.

G.711 tiene dos variantes conocidas como *A-Law* y  $\mu$ -*Law*. *A-Law* se utiliza en el estándar europeo y  $\mu$ -*Law* se usa en Norteamérica. La diferencia entre una y otra variante es la forma en que la cuantización no uniforme se realiza. *A-Law* es más granular a amplitudes bajas y  $\mu$ -*Law* es menos granular pero más uniforme para mayores amplitudes.

Por lo cual, a 8 bits por muestra y 8000 muestras por segundo, la tasa de transferencia de bit de un canal resulta en un valor de 64 kbit/s, así:

- $Bit\ Rate = (8000/s) * (8bit) = 64,000\ bit /s$

Los canales de 64 kbit/s se concentran en grupos de 32 (E1) para el estándar europeo, y en 24 (T1) para el estándar norteamericano. Los grupos de canales se conocen como tramas, cada trama tiene una duración en el tiempo de 125 $\mu$ s.

- $Trama\ PCM = 1 / f_{max} = 1/8000/s = 125\mu s$

Todos los demás métodos de codificación / decodificación buscan en cierta forma emular la calidad de voz provista por dicho sistema y al mismo tiempo reducir el ancho de banda por canal, esto se ha logrado por avanzadas técnicas de predicción de forma de onda, y el desarrollo de algoritmos especializados.

- **Sistemas ADPCM G.721 y G.726**

El sistema PCM genera un código de la muestra en un lado la cual es reconstruida del otro lado del canal de comunicación. La información que viaja dentro del canal cambia lentamente en el tiempo debido a la naturaleza de las señales de voz. Es por esto que los valores de una muestra pueden ser predecidos tomando el valor de la muestra anterior, al hacer este procesamiento en ambos lados del canal, se puede ahorrar ancho de banda considerable.

Este proceso se puede realizar si se transmite la diferencia de magnitud entre la muestra predecida y la muestra real, esto se conoce como DPCM o PCM diferencial.

Existe una versión mas avanzada conocida como ADPCM (PCM diferencial-adaptable). Este sistema predice las muestras basándose igualmente en las muestras pasadas y el error entre muestras se transmite de un extremo a otro. Se logra con este sistema tasas de bit por canal de 40, 32, 24 y 16 kbit/s.

El valor MOS de G.726 ADPCM es de 4.0 aproximadamente, con un ligero descenso al disminuir la tasa de *bit* del canal.

PCM y ADPCM son sistemas CODEC de forma de onda por lo cual no tienen retraso algorítmico, por lo cual tienen una gran ventaja sobre los otros CODEC ya que la voz es una forma de comunicación muy sensible al retraso. En contraste, la desventaja de estos sistemas es que aun consumen bastante ancho de banda por canal.

- **Sistemas AbS**

El sistema AbS o de análisis por sintetización (*Analysis by Synthesis*), es el CODEC híbrido más implementado. El sistema funciona de la siguiente forma: El CODEC toma la señal de entrada que a su vez es una versión reconstruida de la onda original, la misma es comparada con varias muestras o señales de excitación hasta encontrar una que sea lo más parecida posible a la forma de onda original.

A continuación se describen los CODEC AbS más utilizados:

- **G.728 LD-CELP**

Los CODEC basados en CELP (*Code Excited Linear Prediction*), poseen un filtro con características variables en el tiempo, y poseen también una colección de vectores acústicos, los cuales a su vez poseen elementos que caracterizan a una señal de excitación para emular la forma de onda original. La información transmitida entre dos puntos terminales CELP incluye: los coeficientes de los filtros, ganancia, un apuntador al vector escogido para representar la forma de onda; ambos extremos del enlace cuentan con la misma colección de vectores acústicos, por lo cual la forma de onda puede ser reconstruida con mucha exactitud.

El CODEC G.728 es un sistema híbrido de predicción y sintetización, esto puede ser ilustrado al explicar su funcionamiento: El sistema toma 5 muestras de audio a 8kHz y determina (sintetiza) el vector de audio a utilizar y los coeficientes del filtro variable. Se dice también que es adaptativo en el sentido que, los vectores y coeficientes pueden ser determinados también de muestras anteriores.

Este sistema se denomina como de bajo retardo ya que al funcionar cada 5 muestras el retardo total es de menos de 1 milisegundo. Como se describió anteriormente, el sistema receptor también cuenta con el mismo conjunto de vectores y coeficientes, por lo cual solamente es necesario transmitir en el canal de comunicación la información pertinente a los parámetros de excitación. El número total de vectores es de 1024 así que la información puede ser transmitida en tan solo 10 bits para las 5 muestras, por tanto, G.728 transmite una tasa de bit de 16 kbit/s por canal.

Una desventaja de este sistema con respecto a otros sistemas es que requiere mucha capacidad de procesamiento, por lo cual los módulos electrónicos que prestan la funcionalidad de G.728 son muy caros. Es por esto que es raro encontrar estos CODEC en productos comerciales incluso en soluciones VoIP.

#### • **G.723.1 ACELP**

El CODEC especificado en la recomendación ITU-T G.723.1 ACELP (*Algebraic Code Excited Linear Prediction*), puede operar a tasas de bit de 6.3 y 5.3 kbit/s por canal, una ventaja evidente por sobre otros sistemas, la cual conlleva inevitablemente un precio: el retardo inherente al sistema.

El sistema toma muestras de audio a 8kHz las cuales son luego sometidas a cuantización uniforme por lo cual se asignan palabras de 16 bits por muestra. El codificador luego agrupa las muestras en tramas de 240 cada una, y debido a que esto representa 30 milisegundos de audio el sistema exhibe un retardo inherente de 30 milisegundos. Si a esto le agregamos 7.5 milisegundos de procesamiento adicional, vemos que el retardo total del sistema es de hasta 37.5 ms.

En el modo de operación a 5.3 kbit/s se utiliza el sistema ACELP mientras que en el caso de 6.3 kbit/s se utiliza un sistema adicional MP-MLQ (*Multi Pulse Maximum Likelihood Quantization*) o sistema de multi-pulso y cuantización al mayor grado de igualdad. La información que viaja de un extremo a otro consiste solamente en los coeficientes de predicción, parámetros de ganancia, y los números de vectores de audio a utilizar en la emulación. En el caso de 5.3 kbit/s la información transmitida se agrupa en tramas de 20 octetos, mientras que a 6.3 kbit/s se agrupa en tramas de 24.

Adicionalmente, el sistema cuenta con un subsistema de supresión de silencios, esto quiere decir que cuando uno o los dos participantes de una conversación están en silencio, no se transmite el flujo de datos usual a la misma velocidad sino, que como sería deseable, el ancho de banda utilizado en estas condiciones se reduce al mínimo, esto se especifica en la recomendación G.723.1 *Annex A (SID Silence Insertion Description)*. Gracias a este sistema, la transmisión del silencio se hace tan solo a una tasa de 4 octetos por trama, es decir a 1 kbit/s, lo cual le da un enorme beneficio por sobre el sistema PCM en el cual los silencios se transmiten siempre a 64 kbit/s.

En cuanto a calidad de audio, el coeficiente MOS de este sistema es de alrededor de 3.8, lo cual no es malo considerando el ahorro substancial de ancho de banda. En resumen el sistema G.723.1ACELP provee de uno de los mejores CODEC híbridos, con una calidad de audio aceptable pero con un índice de retardo que no es del todo malo, pero que al combinarlo con los retardos de los canales de comunicación y con dispositivos activos como enrutadores y procesadores puede crear ciertos problemas para una solución viable de VoIP.

- **G.729**

La recomendación ITU-T G.729 describe un sistema CODEC que es capaz de operar a velocidad de 8 kbit/s, utilizando tramas de información de 10 milisegundos tomando 80 muestras a 8 kHz. El retardo total de este sistema es de 15 milisegundos tomando en cuenta otros retardos, por lo cual es significativamente mejor que G.723.1. El coeficiente MOS de este sistema es de aproximadamente 4.0. El CODEC G.729 es el más empleado en equipos MG de VoIP, por lo general se le incorpora la funcionalidad VAD para hacerlo más atractivo de implementar (G.729 a/b).

- **Otros tipos de CODEC**

- **CDMA QCELP - IS-733**

CODEC desarrollado para su uso en el sistema CDMA-Qualcomm (QCELP= *Qualcomm Code Excited Linear Predictor*). Soporta tasas de bit de 13.3 kbit/s y 6.2 kbit/s. El estándar QCELP puede ser paquetizado utilizando lo descrito en la recomendación RFC 2658.

- **GSM-EFR**

CODEC GSM (*Enhanced Full Rate*), opera a tasas de bit de 12.2 kbit/s en contraste con el GSM *Full Rate* que codifica a 13.3 kbit/s. El estándar que describe los procesos para paquetizar es el RFC 1890

- **AMR**

El CODEC *Adaptive Multi-rate* puede operar en 8 modos con valores de tasa de bit que van desde 4.75 a 12.2 kbit/s. Es adaptable a las condiciones del canal de comunicación, es decir que puede cambiar de tasa de *bit* de acuerdo con la información del canal o de congestión, el cambio puede realizarse cada 20 milisegundos. Este CODEC puede ser paquetizado aunque el estándar no se ha formalizado y todavía es un borrador.