



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Diseño e Implantación de una solución de Voz sobre IP (VoIP)
en la Red de Datos del SENIAT**

Trabajo de Grado presentado a la ilustre Universidad Central de Venezuela para optar
al título de Especialista en Comunicaciones y Redes de Comunicación de Datos

Presentado por:

Ing. Richard José Lara Urreta

Caracas, Noviembre de 2006



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Diseño e Implantación de una solución de Voz sobre IP (VoIP)
en la Red de Datos del SENIAT**

Trabajo de Grado presentado a la ilustre Universidad Central de Venezuela para optar
al título de Especialista en Comunicaciones y Redes de Comunicación de Datos

Presentado por:

Ing. Richard José Lara Urreta

Tutor Académico:

Prof. Miguel Contreras

Caracas, Noviembre de 2006



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**POSTGRADO EN ESPECIALIZACIÓN EN COMUNICACIONES Y REDES DE
COMUNICACIÓN DE DATOS**

**Diseño e Implantación de una solución de Voz sobre IP (VoIP) en la Red
de Datos del SENIAT**

Autor: Lara Urreta Richard José **Tutor:** Prof. Miguel Contreras

Noviembre de 2006

RESUMEN

Cada día la tendencia de la convergencia de voz y datos en una sola infraestructura de comunicaciones es más común debido a los grandes beneficios económicos y de funcionalidad que representa. La reducción en los costos de llamadas de larga distancia nacional, la consolidación económica en los costos para proveer servicios de voz y datos, estructura única de administración de redes y otros beneficios son las razones por las que esta tecnología está ocupando un papel importante en las redes corporativas y de proveedores de servicios. El presente Trabajo Especial de Grado tiene como objetivo el diseño e implantación de una solución de Voz sobre IP en la red de datos del SENIAT, con el fin de disminuir los gastos de telefonía fija básica de larga distancia nacional e integrar la administración de los sistemas de voz y datos. Para alcanzar este objetivo se realizó un estudio de las plataformas de telefonía tradicional y de la red de datos establecidas con el fin de evaluar su estado para definir sus requerimientos y el desarrollo de la solución para el SENIAT. La solución se basó en utilizar la red de datos como troncal para la comunicación entre diferentes centrales telefónicas en las regiones de tal forma que para cursar llamadas telefónicas entre estas se utiliza como opción principal la red de datos y como segunda opción la red pública telefónica conmutada. Adicionalmente, esta solución contempla la distribución de extensiones telefónicas a través de la red a localidades que no poseen central telefónica utilizando los equipos de comunicaciones ya instalados para conectar los aparatos telefónicos proporcionando completa comunicación de voz interna y externa.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, quien depositó en mi corazón la fortaleza, la luz y el amor para poder seguir adelante y enseñarme algunas otras virtudes que nunca habría conocido.

A Arnela por su paciencia, compañía y gran amor.

A mi hijo Luis Angel, cuya luz y alegría marcan mis pasos para afrontar nuevos retos y seguir adelante.

A mis padres, por su amor y por guiarme por el buen camino

A todos mis amigos y profesores que compartieron conmigo esta gran experiencia y en especial a mi tutor Prof. Miguel Contreras por su gran ayuda y paciencia.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	v
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
EL PROBLEMA	3
I.1. Planteamiento del Problema.....	3
I.2. Objetivo General.....	4
I.3. Objetivos Específicos.....	4
I.4. Justificación	5
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO.....	6
II.1. Antecedentes.....	6
II.2. Definición de Voz sobre IP.....	8
II.3. Telefonía Tradicional	9
II.3.1. Componentes básicos de una red telefónica tradicional	9
II.3.2.1. Señalización de supervisión.....	15
II.3.2.2. Señalización de dirección	16
II.3.2.3. Señalización de información.....	17
II.3.3. Señalización de troncales.....	17
II.3.4. Sistemas de señalización Digital.....	20
II.3.4.1. Sistema CAS.....	20
II.3.4.2. Señalización robbed-bit (T1)	21
II.3.4.3. Sistema CCS	21
II.3.4.4. ISDN.....	22
II.3.4.5. QSIG.....	23
II.3.4.6. DPNSS.....	23
II.3.4.7. SIGTRAN.....	23
II.3.4.7. R2	24
II.3.4.8. SS7.....	24
II.3.5. Técnicas de multiplexación	25
II.4. Interfaces	26
II.4.1. Interfaces analógicas.....	26
II.4.2. Interfaces Digitales	27
II. 5. Conversión Analógica a Digital.....	28
II.5.1. Algoritmos de forma de onda (coders)	28
II.5.2. Algoritmos de fuente (coders)	29
II.5.3. Modulación por Pulsos Codificados (PCM)	29
II.5.4. Modulación Diferencial Adaptativa por Pulsos Codificados (ADPCM)	32
II.5.5. Codificación por excitación lineal predictiva (CELP).....	33
II.5.6. Predicción por Excitación Lineal de Código Algebraico de Estructura Conjugada (CS-ACELP).....	34
II.5.7. CELP de bajo retardo (LD-CELP).....	35
II.5.8. Recomendación G.723.1	36
II.5.9. Características de métodos de compresión de voz.....	37
II.6. Conversión Digital a Analógica.....	38
II.7. Estándares de medida de la calidad de la voz	39
II.7.1. Medida subjetiva de la calidad de la voz	39

II.7.1.1. Puntuación Media de Opinión	40
II.7.2. Medida Objetiva de la calidad de la conversación.....	42
II.7.2.1. Medida Perceptual de la Calidad de la Conversación (PSQM)	43
II.7.2.2. Evaluación perceptual de la calidad de la conversación (PESQ).....	44
II.7.3. Claridad de la Voz	44
II.8. Calidad de la línea	46
II.9. Redes de telefonía de paquetes	48
II.9.1. Beneficios de las redes telefónicas basadas en paquetes	48
II.9.2. Entrega de tráfico de tiempo real en una red de mejor esfuerzo (best-effort).....	50
II.9.3. Requerimientos de voz en una red IP de Mejor Esfuerzo (Best-Effort)	51
II.9.4. Control de llamadas en redes telefónicas basadas en paquetes.....	52
II.9.4.1. Control de llamada Distribuido.....	53
II.9.4.2. Control de llamada centralizado	54
II.5. Recomendación H.323.....	55
II.12. Teoría de tráfico	57
II.13. Planes de Numeración de Voz.....	60
II.14. Calidad de Servicio (QoS).....	64
II.14.1. Necesidad de Calidad de Servicio	65
II.14.2. Modelos para implementar QoS	66
II.14.2. Redes convergentes	68
II.14.2.1. Antes de la convergencia de las redes.....	68
II.14.2.2. Después de la convergencia de las redes	70
II.14.2.3. Problemas de Calidad en redes convergentes	71
II.14.2.3.1. Ancho de banda disponible.....	73
II.14.2.3.2. Retardo punto a punto (Fijo y Variable).....	74
II.14.2.3.3. Variación del Retardo (Jitter).....	83
II.14.2.3.4. Pérdida de paquetes	83
II.14.2.4. Calidad de Servicio para Redes Convergentes	87
II.14.3. Requerimientos de Calidad de Servicio.....	87
II.14.3.1. Requerimientos de Calidad de Servicio para la Voz.....	88
II.14.3.2. Requerimientos de Calidad de Servicio para la data.....	89
II.14.4. Clases de tráfico de Calidad de Servicio.....	90
II.14.5. Políticas de Calidad de Servicio	90
II.14.6. Mecanismos de Calidad de Servicio.....	91
CAPÍTULO III	105
SITUACIÓN ACTUAL	105
III.1. Requerimientos de la Plataforma Actual	110
CAPÍTULO IV	112
DESARROLLO	112
IV.1.- Ingeniería de Tráfico.....	112
IV.2.- Cálculos de Ancho de Banda	121
IV.3.- Políticas de Calidad de Servicio	134
IV.4.- Plan de Numeración.....	148
IV.5.- Componentes de VoIP	149
IV.5.1. Configuración e interconexión de componentes de VoIP	160
Configuración de Gatekeepers	160
Configuración de Gateways	166
CONCLUSIONES	178
RECOMENDACIONES	180
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	200
FUENTES ELECTRÓNICAS	202

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Componentes básicos de una red telefónica tradicional.....	10
Figura N° 2: Señalización de llamadas.....	14
Figura N° 3: Evaluación perceptual de la calidad de la conversación (PESQ)	44
Figura N° 4: Configuración de iguales de conexión telefónica.....	64
Figura N° 5: Antes de la convergencia de redes.....	69
Figura N° 6: Después de la convergencia de redes	70
Figura N° 7: Falta de ancho de banda	73
Figura N° 8: Fuentes de retraso en el procesamiento del codec de la ruta de transmisión de audio.	76
Figura N° 9: Serialización de Paquetes: Un paquete de voz debe esperar otro paquete en medio de la transmisión	78
Figura N° 10: Pérdida de paquetes	84
Figura N° 11: Diagrama actual de la infraestructura de voz del SENIAT	106
Figura N° 12: Diagrama de la red de datos del SENIAT	108
Figura N° 13: Herramienta de Análisis de la Factura (HAF)	113
Figura N° 14: Porcentaje de Utilización en el tiempo	116
Figura N° 15: Porcentaje de utilización promedio	117
Figura N° 16: Distribución de protocolos	118
Figura N° 17: Cantidad de tráfico por protocolo.....	119
Figura N° 18: Estadísticas de Equipo Terminal de Datos y Terminación del Circuito de Datos	120
Figura N° 19: Pasos para implementar QoS.....	138
Figura N° 20: Mecanismos de QoS.....	147
Figura N° 21: Modelo de implementación de VoIP en localidades con PBX	151
Figura N° 22: Modelo de implementación de VoIP en localidades sin PBX	152
Figura N° 23: Diagrama de Zonas H.323 en la red del SENIAT.	161

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Flujo de corriente en un teléfono típico	12
Tabla N° 2: Características de PBX y Sistemas Clave	13
Tabla N° 3: Tipos de señalización E&M.....	19
Tabla N° 4: Características más resaltantes de los métodos de compresión de voz	38
Tabla N° 5: Escalas de evaluación para MOS.....	40
Tabla N° 6: Evaluación MOS de diferentes métodos de compresión	41
Tabla N° 7: MOS bajo diferentes condiciones	42
Tabla N° 8: Tipos de iguales de conexión telefónica.	62
Tabla N° 9. Retraso por serialización, resultante de varios tamaños de fragmento y velocidades	79
Tabla N° 10: Valores de DSCP	93
Tabla N° 11: Valores de Precedencia IP	94
Tabla N° 12: Perfiles de precedencia IP y selector de clase.....	100
Tabla N° 13: Perfil de PHB Envío Acelerado (EF).....	101
Tabla N° 14: Perfil de PHB Envío Asegurado (AF)	102
Tabla N° 15: Cantidad de PBXs.....	106
Tabla N° 16: Marca y Modelo de las PBX instaladas en el SENIAT	107
Tabla N 17: Routers en la red.....	109
Tabla N 18: Switches en la red.....	110
Tabla N° 19: Información de troncales por localidad para llamadas salientes de Larga Distancia Nacional (LDN)	114
Tabla N° 20: Cálculos de disponibilidad de ancho de banda de los enlaces de comunicaciones de la regiones del SENIAT.	121
Tabla N° 21: Ancho de Banda por Codec.	122
Tabla N° 22: Impacto de muestras de voz.....	123
Tabla N° 23: Overhead de protocolos de capa 2	125
Tabla N° 24: Retardo de serialización para varios tamaños de frames en enlaces de baja velocidad. Retardo de serialización = Tamaño del frame (bits) / Ancho de banda del enlace (bps).....	127
Tabla N° 25: Tamaño de fragmentación recomendado para la voz.	128
Tabla N° 26: Resumen de los cálculos de Ancho de Banda.....	131
Tabla N° 27: Ancho de Banda por Localidad	133
Tabla N° 28: Actualización de IOS de Routers para soportar características de QoS.....	134
Tabla N° 29: Aplicaciones y características de QoS en el SENIAT.	135
Tabla N° 30: Plan de numeración	149
Tabla N° 31: Componentes y servicios del modelo H.323.....	152
Tabla N° 32: Modelos de Routers Instalados en el SENIAT	153
Tabla N° 33: Equipos utilizados para proporcionar funcionalidad de Terminales.....	154
Tabla N° 34: Equipos utilizados para proporcionar funcionalidad de Gateway.....	155
Tabla N° 35: Complejidad de codecs	157
Tabla N° 36: Cantidad máxima de llamadas soportada por gateways de voz	158
Tabla N° 37: Equipos utilizados para proporcionar funcionalidad de Gatekeeper.....	158
Tabla N° 38: Actualización de IOS de Routers para soportar características de Gatekeeper.....	159
Tabla N° 39: Distribución de equipos por localidad	159
Tabla N° 40: Comandos usados para conectar un gateway con una PBX usando señalización QSIG.167	
Tabla N° 41: Pruebas de conectividad telefónica.	174
Tabla N° 42: Comandos para verificar y depurar la configuración de equipos de comunicaciones. ..	176

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Tabla Erlang B.....	204
Anexo B: Configuración Router Localidad Principal	207

INTRODUCCIÓN

La infraestructura de las comunicaciones públicas conmutadas en la actualidad consiste en una variedad de diferentes redes, tecnologías y sistemas, la mayoría de las cuales se basan sobre estructuras de conmutación de circuitos. La tecnología evoluciona hacia redes basadas en paquetes y los proveedores de servicios necesitan la habilidad para interconectar sus clientes sin perder la fiabilidad, conveniencia y funcionalidad de las redes telefónicas públicas conmutadas.

La evolución de las redes de comunicaciones públicas nos sitúa en las redes de conmutación de circuitos que predominan en la actualidad, como la red pública telefónica conmutada (PSTN). Sin embargo, la próxima generación de redes (NGN) nos transportará a redes basadas en paquetes como la red Internet. La idea es proporcionar una diversidad de servicios de comunicaciones basados en IP (Protocolo de Internet) equivalentes a los servicios de redes tradicionales por su calidad y facilidad de uso.

Los servicios de datos y voz se han desarrollado tradicionalmente como sistemas de comunicación aislados. El crecimiento y fuerte implantación de las redes IP, el desarrollo de técnicas avanzadas de digitalización de voz, mecanismos de control y prioridad de tráfico, protocolos de transmisión en tiempo real, así como el estudio de nuevos estándares que permitan la calidad de servicio en redes IP, han creado un entorno donde es posible transmitir telefonía sobre IP.

Las redes IP (Internet Protocol) presentan un costo de implementación y mantenimiento mucho menor al necesario para una red de telefonía convencional.

Además, hacen un uso eficiente del ancho de banda utilizado debido a que la utilización del canal es variante en el tiempo (por ráfagas, en la medida en que la conversación se produce en la llamada), ajustándose los recursos del sistema de acuerdo a las necesidades del servicio que se presta. Las redes IP están adquiriendo un papel omnipresente en las redes de computadoras a nivel mundial. Estas y otras premisas hacen de la red IP el medio ideal para el transporte de las nuevas aplicaciones basadas en redes multiservicios, entre las cuales se destaca la comunicación de voz usando la infraestructura de red IP.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

I.1. Planteamiento del Problema

Actualmente en el SENIAT se encuentra establecida una red de datos a nivel nacional con aproximadamente 100 localidades los cuales utilizan la red telefónica del proveedor de servicios CANTV para cursar llamadas telefónicas entre ellas. Algunas de estas localidades cuentan con centrales telefónicas privadas (PBX) y otras utilizan extensiones telefónicas directas de la red pública. Las llamadas de Larga Distancia Nacional (LDN) entre localidades son cursadas a través de la PSTN del proveedor de servicios lo que genera gastos en telefonía básica excesivamente altos.

Estos altos costos se deben a que una llamada telefónica normal requiere una enorme red de centrales telefónicas conectadas entre si mediante fibra óptica, satélites de telecomunicación, entre otros además de los cables que unen los teléfonos con las centrales. Las enormes inversiones necesarias para crear y mantener esa infraestructura la tenemos que pagar cuando realizamos llamadas, especialmente llamadas de larga distancia.

Además, cuando se establece una llamada tenemos un circuito dedicado, con un exceso de capacidad que realmente no se está utilizando.

Adicionalmente el SENIAT debe establecer políticas y personal de administración independientes tanto para la red telefónica como para la red de datos.

Del planteamiento anterior surge la interrogante ¿Cuáles criterios técnicos y económicos podrían determinar la implantación de una solución que ayude a disminuir los gastos de telefonía básica de larga distancia nacional en el SENIAT? Esta situación hace necesaria la búsqueda de una solución por medio de un sistema que pueda utilizar la red de interconexión de datos del SENIAT y que permita tanto la disminución de los gastos por telefonía básica como la integración de la administración de la red de voz y datos al menor costo posible.

El Diseño e implantación de un sistema de VoIP (Voice over IP), es el objetivo fundamental del presente trabajo, siendo importante destacar el efecto que se produce en la red de datos al incorporar este servicio, la calidad del servicio de voz sobre una red de datos entre otros.

I.2. Objetivo General

Diseño e implantación de una solución de Voz sobre IP en la red de datos del SENIAT, con el fin disminuir los gastos de telefonía fija básica e integrar la administración de los sistemas de voz y datos.

I.3. Objetivos Específicos

1. Analizar el entorno de la telefonía tradicional actual y proponer una solución de paquetes de voz para reducir los gastos y permitir nuevas aplicaciones.
2. Diseñar un plan de numeración telefónico y planificar un enrutamiento de llamadas que abarque los switches telefónicos tradicionales y los routers de paquetes de voz.
3. Habilitar las funciones de Calidad de Servicio (QoS) en los routers para asegurar una excelente calidad de voz.

4. Establecer la conectividad entre los routers y los PBX, empleando protocolos de señalización de telefonía tradicional.
5. Establecer una conectividad de llamada de cualquiera-a-cualquiera mediante las redes de paquetes de voz y tradicionales.
6. Pruebas y puesta a punto de la solución.

I.4. Justificación

En los últimos años el SENIAT ha realizado grandes inversiones en tecnología. Se han adquirido equipos de comunicaciones con características de hardware y software capaces de manejar Voz sobre IP. Adicionalmente se han adquirido Centrales Telefónicas Privadas con capacidades de conexión a redes de datos. Todo esto en conjunto con el progresivo aumento en los costos por llamadas telefónicas entre las diferentes localidades del SENIAT a nivel nacional justifica la necesidad de transportar voz telefónica normal sobre la red de datos del SENIAT basada en el protocolo de Internet, con la misma funcionalidad, confiabilidad y calidad de voz que ofrecen las empresas telefónicas tradicionales y que además permita la integración de servicios y la unificación de la estructuras de voz y datos.

La tecnología de voz sobre IP tiene una ventaja obvia en el corto plazo: al utilizar la red de datos establecida para realizar llamadas de larga distancia, el costo de estas comunicaciones baja considerablemente. Existen beneficios adicionales, más importantes aún, como la aparición de un gran número de nuevas aplicaciones: mensajería unificada, trabajo cooperativo a distancia y una mejor atención a los clientes.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

II.1. Antecedentes

Desde hace tiempo, los responsables de comunicaciones de las empresas tienen pensado la posibilidad de utilizar su infraestructura de datos, para el transporte del tráfico de voz interno de la empresa. No obstante, es la aparición de nuevos estándares, así como el mejoramiento de las tecnologías de compresión de voz, lo que está provocando finalmente su implantación. Diferentes fabricantes han permitido que, mediante el uso de multiplexores, puedan utilizarse las redes WAN de datos de las empresas (típicamente conexiones punto a punto y frame-relay) para la transmisión del tráfico de voz.

Voz sobre IP (VoIP) es pronosticada a tener un crecimiento explosivo en los próximos meses y años. Muchos ambientes de corporaciones han sido migrados, están migrando, o están investigando el proceso de migración a VoIP. Algunos proveedores de larga distancia están usando VoIP para llevar tráfico de voz, particularmente para llamadas internacionales.

En Venezuela son muchas las empresas que han implementado esta tecnología con el objetivo de disminuir los costos operativos, simplificar el mantenimiento e incrementar la productividad de la fuerza laboral. Entre estas empresas tenemos:

En Marzo de 2005 el operador de comunicaciones NetUno, como parte de la ejecución de una estrategia de migración de servicios, implementó una nueva plataforma de conmutación de voz con tecnología Cisco que le aporta los beneficios de una red paquetizada lo cual permite la conmutación de llamadas en una

arquitectura abierta bajo los protocolos de Voz sobre IP y que además se integra con los sistemas tradicionales de señalización. Entre los grandes aportes que brinda la nueva tecnología se encuentran las mejoras en el manejo de las comunicaciones de voz, tanto en tecnología tradicional (TDM) como en tecnología sobre las redes en protocolo de Internet permitiendo a su vez la ampliación de la gama de servicios que puede ofrecer la multioperadora en el área de telefonía. La implementación de VoIP permite procesar toda la información para establecer una llamada, enrutarla, mantenerla, registrarla y terminarla. Todo, representado en un ahorro significativo en operaciones telefónicas.

Otra empresa Venezolana que utiliza la tecnología de VoIP es el Banco Canarias de Venezuela el cual tenía como objetivo renovar su estructura de comunicaciones, la cual le resultaba obsoleta, costosa y generaba muchos problemas de operatividad tanto en su sede central como en todas sus sucursales. Entre enero y septiembre del año 2002 esta empresa realizó la implantación de la red WAN más el soporte de telefonía IP con tecnología Cisco en todas sus sucursales en el territorio nacional. Esto permite integrar las comunicaciones de voz y datos en una red convergente que proporciona como ventaja la reducción de costos, administración centralizada y posibilidad de implementar una gran variedad de aplicaciones y servicios con los mismos niveles de calidad de servicio que la red telefónica tradicional.

Por otro lado, a finales de 2003, Cigarrera Bigott implementó en su red de once sucursales, con un total de setecientos sesenta usuarios la tecnología de VoIP y Telefonía IP obteniendo beneficios tales como: costos de adquisición menores que los de los sistemas PBX, convergencia de voz y data, única inversión en central telefónica, fácil manejo de la tecnología para el usuario, eficiencia en control de llamadas y realización de cambios, administración centralizada del servicio telefónico.

II.2. Definición de Voz sobre IP

La eficiencia incremental de las redes de paquetes y la habilidad de estadísticamente multiplexar tráfico de voz con paquetes de datos permite a las empresas maximizar el retorno de la inversión en infraestructuras de redes de datos. Multiplexando tráfico de voz con tráfico de data se reduce el número de costosos circuitos dedicados para servir aplicaciones de voz.

La Voz sobre Protocolo de Internet (Voice over IP/VoIP) es la habilidad para transportar voz telefónica normal sobre una red de datos basada en el protocolo de Internet (IP: Internet Protocol), con la misma funcionalidad, confiabilidad y calidad de voz que ofrecen las empresas telefónicas tradicionales.

IP es un protocolo que contiene información de direccionamiento y control para el enrutamiento de los paquetes a través de la red.

VoIP le permite a los dispositivos de comunicaciones llevar tráfico de voz (por ejemplo llamadas telefónicas y faxes) sobre una red IP. En VoIP, se segmenta la señal de voz en tramas, las cuales son luego agrupadas y guardadas en paquetes de voz que luego son transportados utilizando IP.

Anteriormente, las redes de voz y datos estaban separadas y no podían impactar una a otra. Ahora, es necesario determinar los protocolos que están disponibles para controlar llamadas de voz y asegurar que los flujos de datos no sean impactados negativamente.

II.3. Telefonía Tradicional

En las redes telefónicas tradicionales, muchos componentes y procesos son transparentes para el cliente. A medida que se pasa de una red telefónica tradicional a una a redes de voz y datos convergentes, se deben manejar nuevos componentes y procesos para asegurar un perfecto manejo de las llamadas punto a punto. Para mantener niveles aceptables de servicios, se debe entender cuales dispositivos deben ser soportados y los procesos que son necesarios para asegurar la funcionalidad de una llamada punto a punto.

II.3.1. Componentes básicos de una red telefónica tradicional

Un número de componentes deben ser implementados para que una llamada punto a punto sea satisfactoria. La siguiente figura muestra los componentes básicos de una red telefónica tradicional:

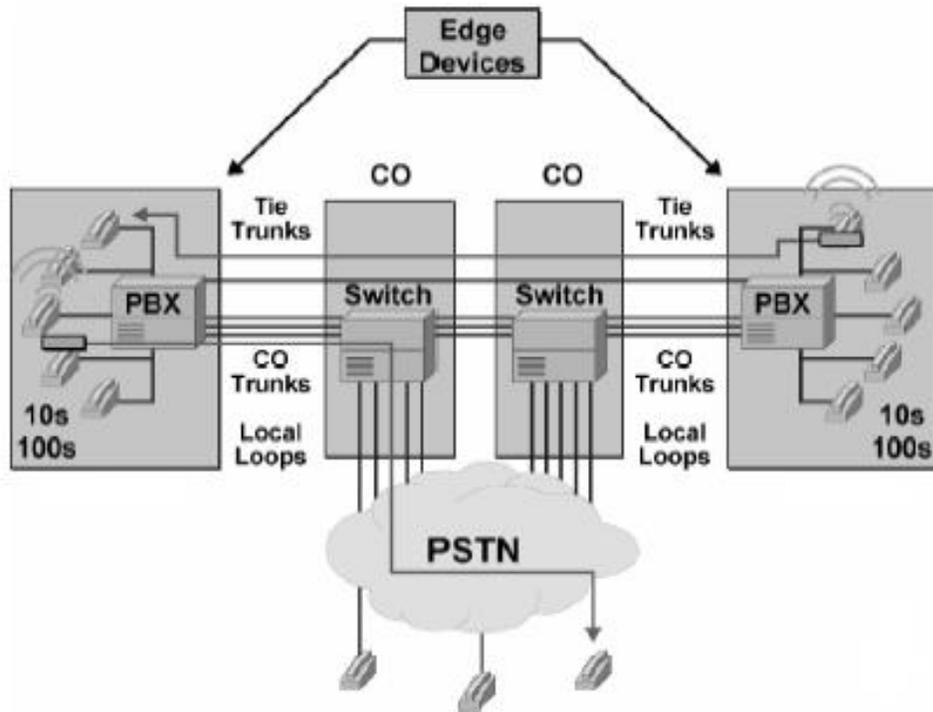


Figura N° 1: Componentes básicos de una red telefónica tradicional. Fuente: Voice over IP CVOICE v4.2.

La descripción de estos componentes se muestra a continuación:

- **Dispositivos de borde (Edge devices):** Existen dos tipos de dispositivos de borde que son usados en una red telefónica:
 - o **Teléfonos analógicos:** Los teléfonos analógicos son más comunes en el hogar, pequeños ambientes de negocio y SOHO (Small Office/Home Office). Las conexiones directas a la PSTN son hechas generalmente usando teléfonos analógicos. Los teléfonos analógicos propietarios son ocasionalmente usados en conjunto con una PBX.

Teléfonos digitales: Contienen hardware para convertir voz analógica en flujos digitales. Grandes ambientes corporativos usan generalmente teléfonos digitales. Estos son típicamente propietarios, lo que implica que trabajan con la PBX o Key System del proveedor. Un Key System ofrece comunicación básica para una pequeña empresa de forma distribuida. Un Key System es usado cuando las funcionalidades y características extras de una PBX no son requeridas.

- **Bucle local (Local loops):** Un bucle local es la interfaz con la red de la compañía telefónica. Típicamente, es un solo par de cable que soporta una sola conversación. Una casa o pequeña oficina puede tener múltiples bucles locales.

- **Switches privados o de oficina central:** Un switch de oficina central (CO: Central Office) termina el bucle local y maneja la señalización, recolección de dígitos, enrutamiento y supervisión de llamadas, configuración de la llamada (call setup) entre otros. La función de enrutamiento de llamadas reenvía la llamada a uno de los siguientes:
 - o Otro teléfono de usuario final, si está conectado a la misma CO.
 - o Otro Switch CO
 - o Un switch tandem (Switch de tránsito)

Un switch CO permite el funcionamiento de un teléfono con los siguientes componentes:

- o **Batería:** La batería es la fuente de poder del circuito y del teléfono. Debido a que la compañía telefónica provee de energía al teléfono desde la CO, los cortes de energía eléctrica no deben afectar un teléfono básico.

- **Detector de corriente (Current Detector):** Monitorea el estado de un circuito detectando si esta abierto o cerrado. La siguiente tabla describe el flujo de corriente en un teléfono típico:

Tabla N° 1: Flujo de corriente en un teléfono típico. Fuente: El Autor.

Microteléfono (Handset)	Circuito	Flujo de corriente
On cradle	Circuito abierto/On hook	No
Off cradle	Circuito Cerrado/Off hook	Si

- **Generador de tono de marcado:** Cuando el registro de dígitos está listo, el generador de tono de marcado produce un tono de marcado para reconocer la solicitud de servicio.
- **Registro de marcado:** El registro de dígitos recibe los dígitos marcados.
- **Generador de timbre (ring):** Cuando el switch detecta una llamada para un suscriptor específico, el generador de timbre alerta al suscriptor llamado enviándole una señal de timbre.

Se debe configurar una conexión PBX a un switch CO con la misma señalización del switch CO. Esta configuración asegura que el switch y la PBX puedan detectar on hook, off hook y los dígitos marcados desde cualquier dirección.

La Private Branch Exchange (PBX) es un sistema de automatización de oficina. Esta permite extensiones en una localidad, para realizar llamadas entre ellos sin usar la Public Switched Telephone Network (PSTN). Lo más importante es que permite compartir los costosos recursos de troncales PSTN. Sin la PBX, cada teléfono necesitaría una línea separada a la PSTN. Una PBX típicamente interactúa con otros componentes para proveer servicios

adicionales, tales como correo de voz. Las PBXs vienen en una variedad de tamaños, de 20 a 20.000 estaciones.

Una PBX tiene tres componentes principales:

- **Interfaz de Terminal:** La interfaz de Terminal provee la conexión entre el Terminal y la PBX.
- **Red de conmutación (Switching):** Provee la ruta de transmisión entre dos o más terminales en una conversación.
- **Control Complex:** Provee la lógica, memoria y procesamiento para el establecimiento, supervisión y desconexión de la llamada.

Tabla N° 2: Características de PBX y Key System. Fuente: Voice over IP CVOICE v4.2.

	PBX	Key System
Tecnología	Principalmente digital.	Analógica o digital.
Funcionalidad de Switch	Similar a un Switch CO.	No es un Switch.
Instalación típica	Grandes localidades de una empresa (típicamente más de 50 usuarios).	Pequeñas compañías u oficinas sucursales (típicamente 50 usuarios o menos).
Métodos para acceder troncales externos	Marca 9 u otro número de acceso para acceder una línea externa.	Presiona un botón para acceder una línea externa.

- **Troncales (Trunks):** La función principal de un troncal es proveer una ruta entre dos switches. Existen diferentes tipos de troncales comunes, incluyendo:
 - **Lazo troncal (Tie trunk):** Circuito dedicado que conecta la PBX directamente.

- **Troncal CO:** Conexión directa entre un CO local y una PBX.
- **Troncal inter-oficina:** Un circuito que conecta dos teléfonos locales de la compañía CO.

II.3.2. Señalización de llamadas

La señalización de llamadas, en su forma más básica, es la capacidad de un usuario de comunicar una necesidad a la red. El proceso de señalización de llamadas requiere la habilidad de detectar una solicitud y finalización de un servicio, envío de información de direccionamiento, y provee reporte de progreso al punto donde se origina la llamada.

La señalización es el intercambio de información de control entre el abonado (equipo Terminal de usuario) y el switch o entre switches.

La siguiente figura muestra principales pasos de una llamada punto a punto:

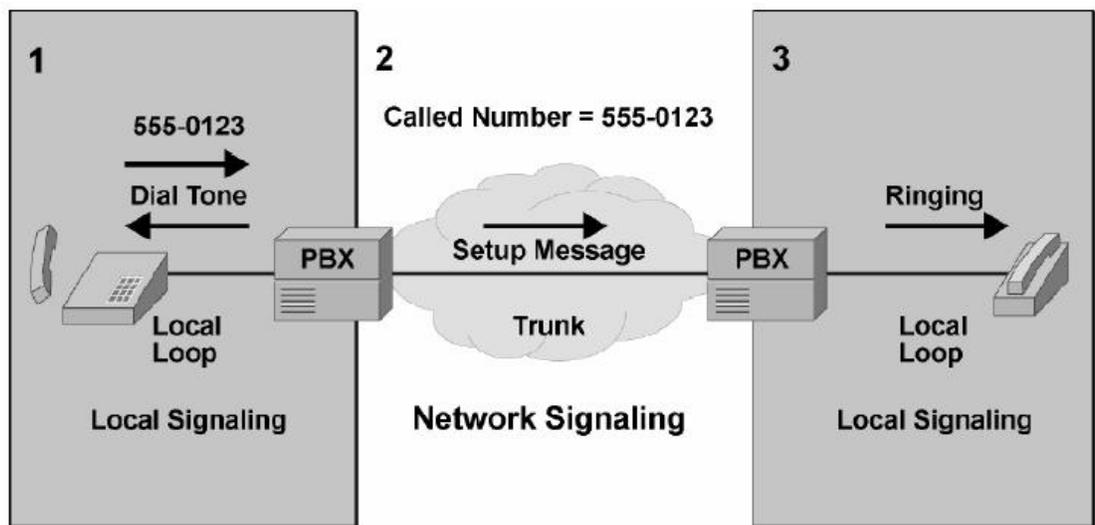


Figura N° 2: Señalización de llamadas. Fuente: Voice over IP CVOICE v4.2.

A continuación se describe los tipos de señalización en la figura anterior:

1.- **Señalización Local (Local Signalling) – origen:** El usuario inicia la señalización al switch haciendo off hook y enviando los dígitos marcados a través de lazo local.

2.- **Señalización de red (Network Signalling):** El switch toma una decisión de enrutamiento y señala el próximo, o final, switch a través del uso de mensajes de configuración (setup) enviados a través del troncal.

3.- **Señalización local (Local Signalling) – destino:** El switch destino señala al destinatario enviando un voltaje de timbre a través del bucle local al teléfono del destinatario.

A continuación se detallan los tres tipos de señalización: señalización de supervisión, dirección e informativa

II.3.2.1. Señalización de supervisión

La señalización de supervisión permite iniciar la interacción entre el suscriptor y el switch de la compañía telefónica. Un suscriptor y la compañía telefónica se notifican uno al otro sobre el estado de la llamada con tonos audibles y con el intercambio de corriente eléctrica. Este intercambio de información es llamado señalización de supervisión.

Existen tres diferentes tipos de señalización de supervisión:

- **On hook:** Cuando el microteléfono descansa en el gancho, el circuito está on hook. El switch evita que la corriente fluya a través del teléfono. Solo el timbre (ringer) es activo cuando el teléfono está en esta posición.

- **Off hook:** Cuando el microteléfono es retirado del gancho del teléfono, el circuito está off hook. El switch pasa a un estado cerrado, permitiendo que la corriente del circuito fluya a través del lazo eléctrico.
- **Ringin:** Cuando un suscriptor hace una llamada, el teléfono envía un voltaje al timbre para notificar al otro suscriptor de una llamada entrante. La compañía telefónica también envía un tono de timbre al suscriptor que llama para alertarlo de que se está enviando el voltaje al teléfono destinatario. A pesar de que el tono de timbre enviado al suscriptor que origina la llamada suena similar a un timbre, es un tono de progreso de llamada y no es parte de las señales de supervisión.

II.3.2.2. Señalización de dirección

Existen dos tipos de teléfonos: el teléfono de marcado de disco y el teléfono de botones (push-button/tono). Estos teléfonos usan dos diferentes tipos de señalización de direcciones para notificar a la compañía de teléfonos donde un suscriptor está llamando:

- **Multifrecuencia de tono dual (Dual tone multifrequency/DTMF):** Cada botón en el teclado está asociado con un conjunto de frecuencias altas y bajas. En el teclado, cada fila de teclas es identificada por un tono de baja frecuencia y cada columna es asociada con un tono de alta frecuencia. La combinación de ambos tonos notifica a la compañía de teléfono sobre el número marcado.
- **Pulso:** El gran disco de marcar en un teléfono giratorio gira para enviar los dígitos para hacer una llamada. Estos dígitos deben ser producidos con una frecuencia específica y dentro de un cierto nivel de tolerancia.

II.3.2.3 Señalización de información

Las combinaciones de tonos indican el progreso de la llamada y son usadas para notificar a los abonados sobre el estado de las llamadas. Cada combinación de tonos representa un evento diferente en el progreso de la llamada. Estos eventos incluyen los siguientes:

- **Tono de marcado (Dial tone):** Indica que la compañía telefónica está lista para recibir los dígitos desde el teléfono del usuario.
- **Ocupado (Busy):** Indica que la llamada no puede ser completada porque el teléfono que se está llamando está en uso.
- **Tono de timbre (ringback – normal o PBX):** Indica que la compañía telefónica está intentando completar una llamada en nombre del abonado.
- **Congestión:** Indica que una congestión en la red telefónica de larga distancia está evitando que la llamada telefónica sea procesada.
- **Tono reordenar (Reorder tone):** Indica que todos los circuitos del teléfono local se encuentran ocupados, evitando que la llamada telefónica sea procesada.
- **Recepción de off hook:** Indica que el receptor ha estado off hook por extenso periodo de tiempo si hacer una llamada.
- **Número no existente (No such number):** Indica que el abonado ha hecho una llamada a un número no existente.
- **Tono de confirmación:** Indica que la compañía telefónica está intentando completar la llamada.

II.3.3. Señalización de troncales

Debe haber una señalización estándar entre las líneas y los troncales de una red telefónica, tal como existe una señalización estándar entre el teléfono y la compañía

telefónica. La señalización de troncal sirve para iniciar la conexión entre el switch y la red. Existen cinco diferentes tipos de señalización de troncal y cada uno aplica a diferentes tipos de interfaces, tales como FXS, FXO y E&M.

Los tipos de señalización de troncales son:

- Loop start
- Ground start
- Señalización E&M:
 - o E&M Wink Start
 - o E&M immediate start
 - o E&M delay start

- **Señalización Loop-Start:** Esta es una forma de señalización simple que es ampliamente usada en el lazo local (por ejemplo, la conexión analógica FXS/FXO entre la casa u oficina y el switch de la oficina central). Cuando no se está utilizando el teléfono (el teléfono esta en hook), el switch está abierto y la corriente no está fluyendo a través del lazo. Sin embargo, la corriente AC es permitida pasar a través del circuito de repique cuando una llamada entrante para esa línea es recibida en la oficina central.

- **Señalización Ground-Start:** Este tipo de señalización es normalmente usado para conexiones entre la PBX y el switch de la oficina central. En este caso la PBX envía una tierra momentánea sobre el ring y el switch de la oficina central reconoce el envío de la tierra y responde cerrando el contacto del tip (lo cual crea una corriente de flujo). Esto provee el tono de marcado sobre la línea. La señalización ground start es usada para prevenir una condición llamada crash o

glare. Esto es cuando cada lado del circuito intenta establecer una llamada precisamente al mismo tiempo.

- **Señalización E&M:** La señalización E&M soporta facilidades tipo líneas de enlace (tie lines) o señalización entre switches de voz. En lugar de sobreponer la señalización y la voz sobre el mismo cable, E&M usa rutas separadas para cada uno.

Existen cinco tipos de E&M (tipos 1 al 5). Los tipos 1, 2 y 5 son los más predominantes. Las diferencias entre ellos son el tipo de señalización usado y las características eléctricas. Los tipos de señalización E&M son:

Tabla N° 3: Tipos de señalización E&M. Fuente: Voice over IP CVOICE v4.2.

Tipo de señalización E&M	PBX a dispositivo intermedio			Dispositivo intermedio a PBX		
	Lead	On Hook	Off Hook	Lead	On Hook	Off Hook
Tipo I	M	Tierra	Batería (-48 VDC)	E	Abierto	Tierra
Tipo II	M	Abierto	Batería (-48 VDC)	E	Abierto	Tierra
Tipo III	M	Tierra	Batería (-48 VDC)	E	Abierto	Tierra
Tipo IV	M	Abierto	Tierra	E	Abierto	Tierra
TipoV	M	Abierto	Tierra	E	Abierto	Tierra

Todos los tipos pueden usarse en modo normal o reverso. El modo normal es usado para conexiones entre una PBX o un switch de la oficina central y un sistema de transmisión. En el modo reverso, los E&M están invertidos.

E&M Wink Start: Con wink start, la inicialización del switch debe esperar hasta que el switch remoto reconozca que está listo para recibir los dígitos. Es realizado reversando momentáneamente la polaridad de M.

E&M immediate start: Cuando este modo es configurado, la inicialización del switch puede enviar los dígitos marcados tan pronto el troncal se encuentre disponible.

E&M delay start: Cuando el circuito E&M está configurado para delayed start, la inicialización del switch usa un retardo programado antes de enviar los dígitos de marcado. Delay start es el protocolo de inicio original para E&M. Este es usado cuando todo el equipo es mecánico y requiere tiempo para procesar solicitudes.

II.3.4. Sistemas de señalización Digital

A continuación se describen los diferentes sistemas de señalización digital usados entre sistemas de telefonía:

II.3.4.1. Sistema CAS

CAS (Channel Associated Signaling: Señalización por Canal Asociado) es un método de señalización comúnmente usado entre PBXs.

En CAS cada canal lleva la voz y su propia señalización. Cuando una interfaz T1 usa CAS, la señalización toma un bit de muestra por cada canal para transportar dentro de banda (La interfaz T1 se describe más adelante).

Cuando una interfaz E1 usa CAS, la señalización viaja fuera de banda en el canal de señalización pero sigue una asociación estricta entre la señal transportada en el canal

de señalización y el canal al cual la señalización esta siendo aplicada. El canal de señalización es el canal 16 (La interfaz E1 se describe más adelante).

En el primer frame, el canal 16 lleva 4 bits de señalización para el canal 1 y 4 bits de señalización para el canal 17. En el segundo frame, el canal 16 lleva 4 bits de señalización para el canal 2 y 4 bits de señalización para el canal 18, y así sucesivamente. Este proceso lo lleva a cabo CAS fuera de banda.

En la señalización de canal asociado, hay una relación determinante entre las señales de control de llamada y los canales de audio que éstas controlan.

II.3.4.2. Señalización robbed-bit (T1)

En la señalización robbed-bit (RBS) T1, que es común en Norteamérica, algunos de los bits de la carga de audio de cada timeslot se quitan y se vuelven a utilizar para dar información de señalización. Cada seis tramas (0.75 ms), los bits que representan el estado de señalización para cada timeslot sobrescriben la información de audio codificada en el bit menos significativo de sus respectivos timeslots. Un timeslot es un periodo de tiempo durante el cual ciertas actividades son gobernadas por regulaciones específicas. También se puede definir como un intervalo de tiempo que puede ser reconocido y definido de forma única.

II.3.4.3. Sistema CCS

CCS es un método empleado para agrupar la información de señalización procedente de varios canales digitales de transmisión en uno único, independientemente de la información del usuario.

Cuando una interfaz T1 usa CCS, la señalización Q.931 es usada en un canal simple, típicamente el último canal. Q.931 es un protocolo de control de conexiones ISDN, algo comparable al TCP en el grupo de protocolos de Internet. El Q.931 no provee control de flujo ni realiza retransmisiones porque las capas que lo sostienen se suponen confiables y porque la naturaleza orientada al circuito que tiene el ISDN asigna ancho de banda en incrementos de 64 Kbps. El Q931 administra todos los aspectos relativos a la conectividad.

Cuando una interfaz E1 usa CCS, la señalización Q.931 es usada en un solo canal, típicamente el canal 17.

II.3.4.4. ISDN

ISDN (Integrated Services Digital Network o RDSI: Red Digital de Servicios Integrados) es una especificación de acceso a una red. ISDN es una red que procede por evolución de la red telefónica existente, que al ofrecer conexiones digitales de extremo a extremo permite la integración de multitud de servicios (Voz, Data y Video) en un único acceso, independientemente de la naturaleza de la información a transmitir y del equipo Terminal que la genere.

ISDN se puede implementar de dos diferentes formas: BRI (Basic Rate Interface/Interfaz de Velocidad Básica) y PRI (Primary Rate Interface/Interfaz de Velocidad Primaria). Una interfaz BRI tiene dos canales de 64 Kbps full duplex que se conocen como canales B y un canal de señalización de 16 Kbps full duplex conocido como canal D. Los accesos PRI tienen 30 canales B y 1 canal de señalización D.

II.3.4.5. QSIG

El protocolo QSIG, formalmente conocido como Sistema de Señalización Privada (PSS1) y basado en el estándar ISDN Q.931, provee señalización para Centrales Telefónicas de Red Integradas Privadas (PINX: Private Integrated Services Network Exchange). PINX incluye desde PBXs y multiplexores a Centrex. QSIG es implementado solo en interfaces PRI. QSIG es un grupo de extensiones de los protocolos RDSI especificado por la ITU-T. El objetivo de QSIG es activar los elementos avanzados de llamada entre redes de telefonía privada que utilizan diferentes fabricantes de switches telefónicos.

II.3.4.6. DPNSS

DPNSS (Digital Private Network Signaling System/Sistema Digital de Señalización para Redes Privadas) es una interfaz estándar definida entre una PBX y una red de acceso. DPNSS expande las facilidades normalmente disponibles entre extensiones en una sola PBX a todas las extensiones en PBXs que están conectadas entre sí en una red privada.

Fue desarrollado por British Telecom y otros fabricantes de PBX y puesto en funcionamiento antes de que los estándares ISDN fueran completados debido a que los clientes querían usar las facilidades digitales lo más pronto posible.

II.3.4.7. SIGTRAN

Es un protocolo de señalización definido en los RFC 2719 y 2960 que describe la forma en que el protocolo IP transporta mensajes SS7 en una red de VoIP. SIGTRAN

trabaja con el protocolo SCTP (Stream Control Transport Protocol) en la capa 4 del protocolo TCP/IP.

Usando SIGTRAN, un proveedor de servicios puede interconectar una red de VoIP privada a una PSTN y asegurar que las señales SS7 son transportadas punto a punto.

II.3.4.7. R2

El Sistema de Señalización Versión 2 (Signaling System Release 2) se compone de dos tipos complementarios de señalización:

- **Señalización de línea:** Realiza funciones supervisoras, como captura de enlace troncal, liberación y limpieza.
- **Señalización interregistro:** Realiza todas las funciones de señalización que no son parte de captura, liberación o bloqueo de un enlace troncal. Estas funciones incluyen transmisión de dirección para las partes llamada y llamante, identificación de grupo de la parte que llama (por ejemplo, abonado, operador, etc.) y cualquier información que se especifique dentro de las normas nacionales de un país.

II.3.4.8. SS7

SS7 (Common Channel Signaling System 7/Sistema de Señalización por Canal Común N° 7) es un estándar global para telecomunicaciones definido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (Sector de Estandarización de Telecomunicaciones). El SS7 es una colección de protocolos usada por los proveedores de servicios de telefonía para soportar la señalización de llamadas fuera de banda y las características avanzadas de llamadas. Define los procedimientos y

protocolos mediante los cuales los elementos de la Red Telefónica Conmutada (RTC o PSTN, Public Switched Telephone Network) intercambian información sobre una red de señalización digital para establecer, enrutar, facturar y controlar llamadas, tanto a terminales fijos como móviles.

II.3.5. Técnicas de multiplexación

Un bucle local analógico de dos cables típicamente transporta una llamada a la vez. Para hacer un mejor uso de las instalaciones de cableado, diferentes técnicas de multiplexación han sido implementadas para permitir que conexiones de dos o cuatro cables puedan transportar múltiples conversaciones al mismo tiempo.

La Multiplexación por división de tiempo (Time-division multiplexing: TDM) es usado extensivamente en redes telefónicas para transportar múltiples conversaciones concurrentemente a través de una ruta de cuatro cables. TDM permite la transmisión simultánea de múltiples señales de voz separadas sobre un medio de comunicación intercalando rápidamente piezas de cada señal, una después de la otra. A la información de cada canal de datos se le asigna ancho de banda basado en timeslots preasignados, indiferentemente de si hay data para transmitir.

La Multiplexación por división de frecuencia (Frequency-division multiplexing: FDM) permite transportar múltiples señales de voz asignando un rango de frecuencia individual a cada llamada. FDM es usado típicamente en conexiones analógicas, aunque su funcionalidad es similar a TDM para conexiones digitales. FDM es usado en conexiones de cable o líneas digitales de suscriptor (digital subscriber line: DSL) para permitir el uso simultáneo de múltiples canales sobre el mismo cable.

II.4. Interfaces

A continuación se provee la descripción de las diferentes interfaces usadas para interconectar dispositivos de telefonía:

II.4.1. Interfaces analógicas

- **Foreign Exchange Subscriber (FXS):** La interfaz FXS provee una conexión directa a un teléfono analógico, un equipo de fax o un dispositivo similar. Desde la perspectiva del teléfono, una interfaz FXS funciona como un switch; por lo tanto, esta debe proveer poder, voltaje de timbre (ring) y tono de marcado.

La interfaz FXS contiene el codificador-decodificador (codec), el cual convierte las ondas de voz analógica hablada en formato digital para ser procesado por el dispositivo de voz.

- **Foreign Exchange Office (FXO):** La interfaz FXO permite una conexión analógica directamente con una CO de la PSTN o a una interfaz de estación en una PBX. El switch reconoce la interfaz FXO como un teléfono porque la interfaz se conecta directamente en el lado de la línea del switch. La interfaz FXO provee dígitos en pulso o DTFM para marcado saliente.

En la terminología de la PSTN, una conexión FXO-a-FXS es también conocida como un troncal de intercambio foráneo (foreign exchange: FX). Un troncal FX es un troncal CO que tiene acceso a un CO distante. Debido a que esta conexión es FXS en un extremo y FXO en el otro, actúa como una extensión de larga distancia de una línea telefónica local. En este ejemplo, un

usuario local puede levantar el teléfono y obtener tono de marcado de una ciudad foránea. Los usuarios en la ciudad remota pueden marcar un número local y conectarse con el usuario en la ciudad local.

- **Ear and Mouth (E&M):** Las interfaces E&M proveen señalización para enlaces analógicos. Los circuitos troncales analógicos conectan sistemas automatizados (PBXs) y redes (COs). La señalización E&M define un extremo como circuito troncal y el otro extremo como unidad de señalización por cada conexión, similar a los tipos de referencia DCE y DTE.

II.4.2. Interfaces Digitales

En ambientes corporativos con un gran volumen de tráfico de voz, las conexiones a la PSTN y a la PBX son principalmente digitales.

Interfaz T1: Una interfaz T1 es una forma de conexión digital que puede simultáneamente transportar hasta 24 conversaciones usando dos pares de cables. Cuando un enlace T1 opera en modo full-duplex, un par de cable envía y el otro par de cables recibe. Los 24 canales son agrupados para formar un frame. Los frames son luego agrupados en un súper frame (grupos de 12 frames) o en súper frames extendidos (grupos de 24 frames). La interfaz T1 es usada en Norte América.

La interfaz T1 transporta Señalización CCS o CAS.

Interfaz E1: Una interfaz E1 tiene 32 canales y puede transportar simultáneamente hasta 30 conversaciones. Los otros dos canales son usados para framing y señalización. Los 32 canales son agrupados para formar un frame. Los frames son agrupados en multiframe (grupos de 16 frames). Europa y otras partes del mundo usan interfaces E1.

A pesar de que se puede configurar una interfaz E1 para CAS o CCS, es más común usar CCS.

II. 5. Conversión Analógica a Digital

La digitalización de la voz fue un proyecto emprendido inicialmente por Bell System en 1950. El propósito original de digitalizar la voz fue desplegar más circuitos de voz con un menor número de cables. Esto envuelve los métodos de transmisión E1 y T1 de la actualidad.

Los esquemas de digitalización de voz más comunes son los siguientes:

II.5.1. Algoritmos de forma de onda (coders)

Los codificadores de forma de onda se basan en la codificación de la señal a partir de las muestras de la señal, reproduciendo una aproximación de la señal original a través de una serie de muestras reconstruidas que tratan de acercarse lo más posible a las muestras originales de la señal. Entre estos tipos de codificadores tenemos el PCM y el ADPCM. Dichos codificadores se basan en el teorema de Nyquist, que señala que una señal puede ser reconstruida si se muestrea a por lo menos el doble de su frecuencia máxima.

Los algoritmos de forma de onda tienen las siguientes funciones y características:

- Muestras de señales analógicas a 8000 veces por segundo.
- Usa métodos de predicción diferencial para reducir el ancho de banda.
- Impacta la calidad de la voz debido a la reducción de ancho de banda.
- No toma ventajas de las características de la voz.

II.5.2. Algoritmos de fuente (coders)

Los algoritmos de fuente tienen las siguientes funciones y características:

- Los codificadores de algoritmos de fuente son llamados vocoders, o codificadores de voz. Un vocoder es un dispositivo que convierte la voz analógica en voz digital, usando un esquema específico de compresión que es optimizado para codificar la voz humana.
- Los vocoders toman ventaja de las características de la voz.
- La reducción del ancho de banda ocurre enviando configuraciones de filtros lineales.
- Libros de código (Codebooks) almacenan formas de onda predictivas específicas de la voz humana.

II.5.3. Modulación por Pulsos Codificados (PCM)

PCM (Pulse Code Modulation), es un método de codificación de forma de onda desarrollado en los años 60 y fue estandarizado por la ITU (International Telecommunication Union, la unión internacional de las telecomunicaciones) bajo el nombre de Recomendación G.711.

Esta recomendación representa el método más común de codificación de forma de onda utilizado alrededor del mundo.

Mediante el uso de la recomendación G.711 se logra transmitir una señal de voz en forma digital y reconstruirla en el destino de una forma que, para el oído humano, es esencialmente idéntica a la original.

El problema de la codificación PCM es el gran ancho de banda requerido, 64 Kbps por canal de voz, por lo que han surgido nuevos tipos de codificación que han logrado reducir considerablemente este ancho de banda, sin sacrificar demasiado la calidad de la voz reconstruida.

PCM se basa en un proceso de tres pasos: muestreo, cuantificación y codificación:

1.- Muestreo: El muestreo se basa en el teorema de Nyquist por lo que muestrea la señal a por lo menos el doble de la frecuencia máxima de la misma.

Como la señal de voz está contenida fundamentalmente dentro de una banda de frecuencias entre 300 y 3400 Hz la misma se filtra para que no exista prácticamente ningún componente de frecuencia por encima de 4 KHz, procediéndose, después de este filtraje a tomar 8000 muestras por segundo (2×4 KHz).

El resultado del proceso de muestreo es una serie de pulsos con una amplitud igual al valor de cada muestra (PAM, Pulse Amplitud Modulation, modulación por amplitud de pulsos).

2.- Cuantificación: El objetivo fundamental de PCM es el de convertir una señal analógica a su equivalente digital, sin embargo, el proceso de muestreo nos da una serie de pulsos cuya amplitud se encuentra en una gama infinita de valores. Para asignar una secuencia binaria diferente a cada valor de una señal que presenta una gama infinita de valores, se requeriría un código de longitud infinita.

La idea del proceso de cuantificación es la de relacionar esa gama infinita de valores a una serie de valores discretos, de forma tal de minimizar el número de valores discretos requeridos (minimizando la longitud del código), sin sacrificar de forma apreciable la calidad de la señal reconstruida.

De esta manera, se le asigna a un valor de muestra el valor discreto que más se le aproxima. Esto trae como consecuencia que la señal reconstruida no sea exactamente igual a la señal original. A esta diferencia se le denomina error de cuantificación.

En el proceso de cuantificación se trata de disminuir el error de cuantificación, tratando de que la señal reconstruida se asemeje lo más posible a la original, al mismo tiempo que se trata de minimizar la cantidad de valores discretos que se utilizan.

Por estas razones el proceso de cuantificación que se utiliza no es uniforme. Es decir, los valores discretos no se encuentran equidistantes entre sí. En la gama de valores pertenecientes a las amplitudes más bajas se asigna un mayor número de valores discretos. A medida que se acerca a la gama de valores de amplitudes más altas, el número de valores discretos asignados disminuye.

Si la gama fuera lineal, las muestras de menor amplitud tendrían un error de cuantificación porcentual (relación entre amplitud de la muestra y amplitud del error) mucho mayor que las muestras que se encuentran en la gama de las amplitudes altas. La idea de la cuantificación no uniforme es la de que el error de cuantificación sea relativamente uniforme en toda la gama de la señal.

Adicionalmente tenemos que existe mucha mayor probabilidad de que las muestras de las señales de voz se encuentren en la gama de las amplitudes menores, por lo que se hace todavía más importante minimizar el error de cuantificación para estas amplitudes.

En América del Norte y en Japón se utiliza una cuantificación donde las muestras están espaciadas logarítmicamente, denominada ley μ . En Europa y en América del Sur se utiliza principalmente una cuantificación también logarítmica, denominada ley A.

3.- Codificación: En el proceso de codificación, a cada valor discreto de la muestra se le asigna un código único de 8 bits (con lo cual podemos representar 256 valores discretos diferentes).

De todo esto tenemos que, siguiendo el teorema de Nyquist, transmitimos 8000 muestras por segundo (4 KHz X 2), y dado que cada muestra está constituida por 8 bits, para transportar una señal de voz, requerimos un canal de 64 Kbps (8000 m/s X 8b/m = 64000 b/s).

II.5.4. Modulación Diferencial Adaptativa por Pulsos Codificados (ADPCM)

En ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation), a diferencia del PCM, no se codifica cada una de las muestras, sino que se codifica la diferencia entre la predicción de la muestra y la muestra original. Dado el alto grado de correlación entre las muestras, se pueden realizar predicciones cercanas a los valores de las muestras, por lo que se requiere enviar menos bits para indicar cuál es el error de la predicción (diferencia entre la predicción y la muestra real) que el número de bits que se requiere para enviar la muestra en su totalidad.

Con ADPCM se muestrea la señal de voz 8000 veces por segundo (como en PCM), pero dado que se envía solamente el error de predicción, solamente se requiere transmitir 4 bits de información en lugar de los 8 que se requerirían para enviar la información de la muestra en su totalidad. Con esto se logra disminuir la velocidad de transmisión en la mitad (32 Kbps, 8000 muestras por segundo x 4 bits por muestra) con respecto al PCM.

El ADPCM fue estandarizado por la ITU a mediados de los años ochenta bajo la recomendación G.721. En 1988 surgieron extensiones al G.721 (la G.723) que permiten reducir la velocidad de bits en el canal cuando la red presenta congestión. Con esta extensión se puede ajustar los bits por muestra a 3 y a 5, obteniéndose velocidades de 24 Kbps y 40 Kbps, respectivamente.

En 1.990 surgió una nueva versión de ADPCM (G.726) la cual es capaz de ajustar la velocidad de bits, cambiando el número de bits por muestra de 2 hasta 5, obteniéndose velocidades entre 16 Kbps y 40 Kbps.

A diferencia del PCM, donde todas las muestras son independientes unas de otras, para estos algoritmos de ADPCM la predicción de la muestra presente depende de las muestras precedentes. De esta manera, si al utilizar PCM se pierde una muestra de la señal, la calidad de la señal se ve afectada solamente por la pérdida de esa muestra, sin embargo, si se utiliza ADPCM la pérdida de una muestra afecta la predicción de las muestras siguientes, teniendo esto un mayor impacto en la calidad de la señal.

Por estas razones, se hace muy importante que todos los bits generados en el transmisor lleguen correctamente al receptor de forma tal de mantener la predicción de ambos equipos sincronizada.

II.5.5. Codificación por excitación lineal predictiva (CELP)

CELP (Code Excited Linear Prediction) es una técnica híbrida de codificación, donde se combinan la codificación por forma de onda y la codificación por modelaje de la voz.

La idea es tratar de obtener las ventajas de ambas técnicas. A través de la codificación por forma de onda se logra reconstruir la señal con un grado de fidelidad alto (pero utilizando un ancho de banda significativo). Por otro lado, con la codificación por

modelaje se logra transmitir la señal de voz utilizando un ancho de banda muy pequeño (pero con una calidad muy inferior).

CELP utiliza un libro de códigos que contiene una tabla con las señales residuo típicas. En operación, el codificador compara el residuo con todas las entradas en el libro de códigos, eligiendo la que más se parece y enviando el código de la misma. El receptor recibe el código, y elige el residuo relacionado con el mismo, el cual utiliza para excitar el filtro. De aquí el nombre de predicción lineal con excitación por código.

Con esta codificación se logra obtener una calidad mucho mayor a la obtenida con LPC sin sacrificar mucho ancho de banda adicional (velocidades entre 4.8 y 16 Kbps).

II.5.6. Predicción por Excitación Lineal de Código Algebraico de Estructura Conjugada (CS-ACELP)

La codificación CS-ACELP (Conjugate Structure Algebraic Code Excited Linear Prediction) fue estandarizada por la ITU en Noviembre de 1995 bajo la recomendación G.729. Con la utilización de esta recomendación se codifica la voz a 8 Kbps.

Esta codificación opera con segmentos de voz de 10 mseg, correspondientes a 80 muestras PCM. Cada 10 mseg se analiza la señal de voz y se extrae los parámetros del modelo CELP.

La característica principal de CS-ACELP es que las entradas del libro de códigos ya no vienen dadas por un conjunto de valores que caracterizan las formas de onda de

los residuos, sino que dichas formas de onda son representadas por un conjunto de ecuaciones algebraicas.

CS-ACELP utiliza dos libros de códigos, uno fijo y otro adaptable. El libro fijo contiene formas de onda preestablecidas, las cuales no varían. En el libro adaptable, las formas de onda se van adaptando a las señales reconstruidas, permitiendo con esto que la reconstrucción de la voz se vaya ajustando a las características de la misma, obteniéndose con esto una mayor fidelidad.

II.5.7. CELP de bajo retardo (LD-CELP)

LD-CELP (Low Delay CELP) fue estandarizado por la ITU en 1992 bajo la recomendación G.728.

Con esta codificación ya no se transmite los parámetros del filtro, la frecuencia y amplitud de la excitación y el código del residuo, sino que se transmite el código de la excitación. Realmente, se transmite aquel código que, al pasarlo por un filtro adaptable, genera la señal más similar a la señal de entrada (el menor error). En el decodificador, los parámetros que caracterizan al filtro son calculados a partir de los segmentos previos de voz reconstruida.

Esta codificación opera con segmentos de voz de 0,625 mseg, correspondientes a 5 muestras PCM. Por cada segmento de voz, el codificador analiza entre las 1024 vectores de su libro de códigos para encontrar la forma de onda del mismo que más se aproxime a la excitación de entrada (el que minimiza el error medio cuadrático compensado en frecuencia con respecto a la señal de entrada). Los 10 bits correspondientes al vector del libro de código seleccionado son enviados al

decodificador. De esta manera, cada 0,625 mseg el codificador envía 10 bits, lo que da una velocidad de 16 Kbps.

En la práctica, 7 bits son utilizados para representar 128 formas de onda patrón y los otros bits se utilizan para indicar la amplitud de la señal. Sabiendo que una señal analógica puede poseer una variedad infinita de valores la selección entre 1024 posibilidades se ve muy débil, y realmente lo sería si esta selección fuera estática. Sin embargo, esta selección no es estática, como en ninguna de las codificaciones CELP. Justamente la reputación de altamente compleja que posee la codificación CELP viene dada de la actualización constante de los libros de código y de los filtros, a partir del pasado reciente de la señal de entrada.

II.5.8. Recomendación G.723.1

La recomendación G.723.1 fue aprobada por la ITU en marzo de 1996, y recomendada en 1997 por el consorcio de tele-conferencia multimedia al forum de voz sobre IP como codificación de audio de baja velocidad para el estándar H.323 de la ITU.

Este codificador posee dos velocidades asociadas, 5,3 Kbps y 6.3 Kbps. La mayor velocidad provee una mejor calidad, pero la menor velocidad, aparte de ofrecer una buena calidad, provee a los diseñadores de sistemas con una flexibilidad adicional.

El codificador envía, al igual que en G.729, los parámetros que caracterizan al filtro LPC (que representa el tracto vocal), la amplitud de la señal de excitación, la frecuencia de la formante y una representación de la señal residuo.

La diferencia fundamental con G.729 es que las señales se procesan en segmentos de tiempo mucho mayores, 30 mseg en lugar de 10 mseg y que para la aproximación del residuo, G.723.1 utiliza, para su más alta velocidad de codificación (6.3 Kbps), en lugar de una excitación de código algebraica, una excitación cuantificada con multipulso de máxima probabilidad (MP-MLQ, Multipulse Maximum Likelihood Quantization). Para su más baja velocidad (5,3 Kbps) G.723.1 utiliza una excitación de código algebraica para aproximar el residuo de la señal.

En G.723.1 las señales de audio se procesan en segmentos de 30 mseg, correspondientes a 240 muestras PCM, y para el cálculo de los coeficientes del filtro LPC se analiza la señal de entrada por 7,5 mseg adicionales, resultando un retardo total del algoritmo de 37,5 mseg.

II.5.9. Características de métodos de compresión de voz

En la tabla N° 4 se muestra las características más resaltantes de los métodos de compresión de voz estandarizados.

Tabla N° 4: Características más resaltantes de los métodos de compresión de voz. Fuente: Cisco IOS Voice, Video, and Fax Configuration Guide

Codec	Técnica de compresión	Velocidad (Kbps)	Segmento (bits)	Segmentos/seg	Duración (msg)	Retardo (msg)
G.711	PCM	64	8	8000	0,125	0,125
G.721	ADPCM	32	4	8000	0,125	0,125
G.723	ADPCM	24 – 40	3 – 5	8000	0,125	0,125
G.726	ADPCM	16 – 40	2 – 5	8000	0,125	0,125
G.727	ADPCM	16 – 64	2 – 8	8000	0,125	0,125
G.729	CS-ACELP	8	80	100	10	15
G.728	LD-CELP	16	10	1600	0,625	0,625
G.723.	MP-MLQ	6,3	189	33,33	30	37,5
G.723.	ACELP	5,3	159	33,33	30	37,5

II.6. Conversión Digital a Analógica

Después de que el Terminal receptor recibe la señal digital PCM, debe convertir la señal PCM otra vez en una señal analógica.

El proceso de convertir señales digitales nuevamente en señales analógicas incluye los siguientes dos pasos:

- **Decodificación:** La palabra de 8-bits recibida es decodificada para recuperar el número que define la amplitud de la muestra. Esta información es usada para reconstruir la señal PAM de la amplitud original. Este proceso es simplemente el reverso de la conversión analógica a digital

- **Filtrar:** La señal PAM es pasada a través de un filtro apropiadamente diseñado que reconstruye la forma de onda analógica original desde su contraparte digitalmente codificada.

II.7. Estándares de medida de la calidad de la voz

Con los métodos de compresión de voz se logra reducir el ancho de banda requerido para transmitirla, permitiendo reconstruirla en el destino. Sin embargo, la forma de onda reconstruida es una aproximación a la forma de onda generada, no siendo exactamente igual a la que se generó, y por tanto, se observan pérdidas en la calidad de la misma.

Cada uno de los métodos de compresión explicados posee diferentes algoritmos de compresión y reconstrucción de la señal, aproximando la señal que se originó de manera diferente y percibiéndose la voz reconstruida de manera diferente para cada uno de estos métodos.

Las nuevas formas de representar electrónicamente la voz humana hace necesario la utilización de métodos para comparar la calidad de cada representación. Existen tres técnicas de medida de calidad de la voz que son: MOS (Mean Opinion Store), PESQ (Percentual Evaluation of Speech Quality) y PSQM (Percentual Speech Quality Measurement).

II.7.1. Medida subjetiva de la calidad de la voz

La medida subjetiva de la calidad de conversaciones es el planteamiento más usado para medir la calidad de la voz. Este planteamiento determina empíricamente la calidad de la voz medida en un codec o sistema a través del uso del oyente o pruebas de conversación con personas. Un gran número de personas, actuando como los

sujetos experimentales, escuchan muestras de audio y proporcionan su reacción en forma de una escala de categorías.

II.7.1.1.Puntuación Media de Opinión

Una puntuación media de opinión (MOS) es el resultado de una prueba de escala de categoría absoluta (ACR). En la prueba ACR, los sujetos escuchan grupos de muestras de conversación pregrabadas que son sujetas a condiciones variadas tales como algoritmos de compresión e indican el nivel de calidad de la conversación que perciben de cada muestra, de acuerdo a la escala de calidad de escucha o a la escala de esfuerzo de escucha (recomendación del ITU: Internacional Telecommunication Union). En esta evaluaciones la máxima puntuación es 5, y se considera la gama entre 4 y 5 como de muy buena calidad, la gama entre 3 y 4 como calidad adecuada para ser utilizada en los sistemas de telecomunicación (obteniéndose una buena calidad, reconociéndose a la persona que habla y lográndose una voz reconstruida que se percibe natural), y entre 1 y 3 como calidad sintética (donde no se reconoce a la persona que habla, y la voz reconstruida no se percibe de manera natural).

En la siguiente tabla se muestra la escala de evaluación MOS:

Tabla N° 5: Escalas de evaluación para MOS. Fuente: Voice Over IP Fundamentals

Puntuación MOS	Escala de Calidad de escucha	Escala de esfuerzo de escucha
5	Excelente	Relajación completa posible; no se necesita esfuerzo.
4	Buena	Atención necesaria; no se necesita esfuerzo apreciable.
3	Media	Se necesita esfuerzo moderado.
2	Pobre	Se necesita esfuerzo considerable.
1	Mala	No se entiende el significado con cualquier esfuerzo factible.

MOS está definido en el estándar P.800 de la ITU.

Comparación de la puntuación de la calidad de Codec

En la siguiente tabla se muestra la evaluación MOS de diferentes métodos de compresión.

Tabla N° 6: Evaluación MOS de diferentes métodos de compresión. Fuente: Voice Over IP Fundamentals

Codec	Técnica de compresión	Bit Rate (Kbps)	MIPS	Retardo de compresión	Tamaño del Paquete	MOS
G.711	PCM	64	0.34	0.75	0.125	4.1
G.726	ADPCM	32	13	1	0.125	3.85
.728	LDCELP	16	33	3.5	0.625	3.61
G.729	CS-ACELP	8	20	10	10	3.92
G.729A	CS-ACELP	8	10.5	10	10	3.9
G.723.1	MP-MLQ	6.3	16	30	30	3.9
G.723.1	ACELP	5.3	16	30	30	3.8

En esta tabla se puede observar como con ADPCM, LD-CELP, y CS-ACELP se percibe una calidad de la voz reconstruida similar, con PCM la calidad es algo superior (aunque no de manera significativa), y con MPMLQ la calidad es algo inferior (aunque tampoco de manera significativa). Con el método de la tabla con que se obtiene la menor calidad es con G.723.1, cuando se utiliza en la modalidad ACELP, sin embargo, dicho método se encuentra dentro de la gama que se considera adecuado para las telecomunicaciones.

MOS bajo diferentes condiciones

La siguiente tabla demuestra como la clasificación de MOS para la calidad del codec G.729 es afectada por varias condiciones de red. Con un nivel de conversación medio, la clasificación MOS será alta. Cuando un usuario habla muy suavemente, la clasificación es baja, debido a las incongruencias en el libro de códigos de G.729. Con codificación tandem, la clasificación se empeora progresivamente. La codificación tandem es la conversión de analógico a digital, luego a analógico y nuevamente a digital, y finalmente a analógico nuevamente. El resultado es análogo a hacer una copia de una copia de una cinta de video: la calidad empeora con cada copia. La codificación tandem debe ser evitada en las redes de VoIP. Finalmente, con errores de bits y frame, el MOS se ve afectado debido a paquetes perdidos o incorrectos.

Tabla N° 7: MOS bajo diferentes condiciones. Fuente: Voice Over IP Fundamentals

Ejemplo: G.729	Clasificación MOS
Nivel de conversación promedio	3.92
Nivel de entrada bajo	3.54
Dos codificaciones tandem	3.46
Tres codificaciones tandem	2.68
5% bit error rate	3.24
5% frame error rate	3.02

II.7.2. Medida Objetiva de la calidad de la conversación

Aunque los métodos de comprobación subjetiva son fiables y respetables, también consumen tiempo y son costosos. Sería conveniente tener una valoración automática

de la calidad de la voz en base a un equipo que reflejara exactamente los resultados de comprobación sin incurrir en tiempo y costos. El método objetivo de medida de la calidad de la conversación que ha ganado aceptación y popularidad a través de la ITU es la medida perceptual de la calidad de la conversación.

II.7.2.1. Medida Perceptual de la Calidad de la Conversación (PSQM)

El modelo de medida perceptual de la calidad de la conversación, especificado en la recomendación P.861 de la ITU, ofrece resultados coherentes con una prueba subjetiva de un codec bajo ciertas condiciones. PSQM se adapta idealmente para medir el rendimiento de un codec en un laboratorio, y se puede modular para analizar la calidad de la conversación en una red VoIP (después de capturar muestras de sonido). Sin embargo, es difícil implementarlo en evoluciones en tiempo real. El software PSQM reside usualmente en los sistemas de administración de llamadas IP, los cuales algunas veces se integran con sistemas SNMP (Simple Network Management Protocol). La medida realizada por PSQM es realizada comparando la conversación original transmitida con la conversación resultante en el extremo final del canal de transmisión. Las medidas de PSQM se realizan en tiempo real durante la conversación en la red. Este algoritmo de pruebas automatizadas tiene sobre 90 % de exactitud comparado con las pruebas de escucha actuales, tales como MOS. La puntuación esta basada en una escala de 0 a 6.5 donde 0 es la mejor y 6.5 es la peor.

MOS y PSQM no son recomendadas para la redes de VoIP de hoy. Cada uno fue originalmente diseñado antes de VoIP, y los problemas típicos, tales como Jitter y el Retardo, asociados con VoIP no son medidos. Por ejemplo, es posible obtener una puntuación MOS de 3.8 en una red VoIP, cuando el retardo en un sentido excede los 500 milisegundos. Esto es porque el evaluador de MOS no tiene concepto de una conversación de dos direcciones y solo escucha la calidad de la voz. El retardo en un solo sentido no es evaluado.

II.7.2.2. Evaluación perceptual de la calidad de la conversación (PESQ)

PESQ fue originalmente desarrollado por British Telecom, Psytechnics y KNP Research de Netherlands. Fue adoptado por el estándar P.862 de la ITU y es considerado el estándar actual para la medida de la calidad de la voz. PESQ puede tomar en cuenta errores de codificación-decodificación (codec), errores de filtración, problemas de jitter y problemas de retardo típicos en VoIP. La puntuación de PESQ esta basada en una escala de 1 (peor) a 4.5 (mejor), con 3.8 considerado alta calidad

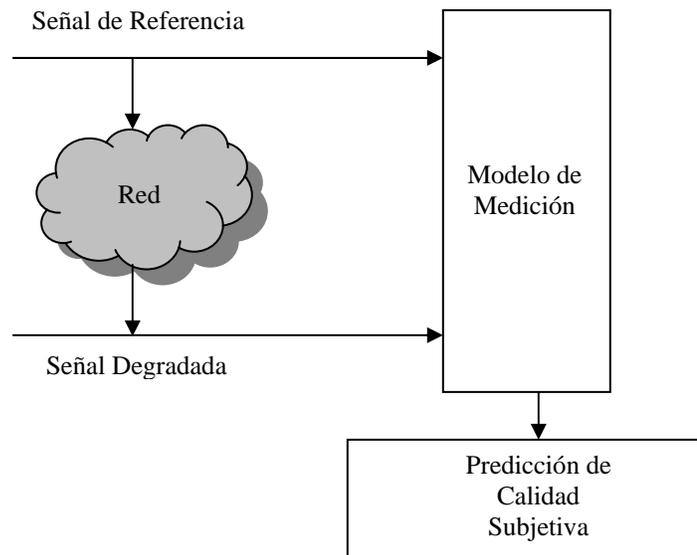


Figura N° 3: Evaluación perceptual de la calidad de la conversación (PESQ). Fuente: Integración de Redes de Voz y Datos

II.7.3. Claridad de la Voz

La efectividad de una conversación telefónica depende de su claridad. La claridad de la conversación debe ser mantenida punto a punto. Los factores que pueden afectar la

calidad de la voz son el eco, la fidelidad (pérdida de paquetes), el retardo y la variación del retardo (jitter).

Factores de Comodidad

Además de la claridad del audio, un número de factores psicológicos de conformidad afectan la calidad de la voz percibida. Juntos, estos factores pueden causar que el oyente evalúe la calidad global como buena o pobre.

Cuando se transporta voz sobre IP, la calidad percibida de la voz recibida debe imitar la red pública de conmutación de circuitos (PSTN: Public Switched Telephone Network). Los siguientes dos factores de comodidad afectan la calidad:

- **Sidetone:** El diseño resuelto de un teléfono que permite al hablante escuchar lo que habla por el auricular. Sin el sidetone, el hablante tiene la impresión de que el instrumento telefónico no está funcionando.
- **Ruido de fondo:** El ruido de fondo en los extremos del flujo de audio, tanto en la emisión como en la recepción, puede tener un impacto importante en la calidad de la voz percibida por el oyente. Algunas tecnologías de ahorro de ancho de banda pueden eliminar el ruido de fondo totalmente, tales como Detección de Actividad de Voz (VAD: Voice Activity Detection). Cuando esta tecnología es implementada, la ruta audio del hablante es abierta al oyente, mientras la ruta de audio del oyente es cerrada para el hablante. El efecto de VAD es que con frecuencia el hablante piensa que la conexión se ha interrumpido ya que no escucha nada por el auricular.

II.8. Calidad de la línea

Aunque un bucle local consiste en dos alambres, cuando este alcanza el switch, la conexión cambia a cuatro alambres con un convertidor híbrido de dos a cuatro alambres. Debido a esto se puede producir eco en la conversación. El eco es el resultado de señales de conversación en un sentido que se reflejan o se escapan en sentido opuesto. El eco se produce como resultado de las incongruencias de impedancia eléctrica en la ruta de transmisión. Los dos componentes que afectan el eco son la amplitud (volumen del eco) y el retardo.

Las redes telefónicas pueden experimentar dos tipos de eco: eco acústico y eco eléctrico. El eco acústico es el que se produce por acoplo entre el altavoz y el microteléfono. Suele ser despreciable en terminales telefónicos convencionales, sin embargo tiene entidad suficiente en equipos manos libres o en teléfonos móviles que incluyen sus propios mecanismos de cancelación. El eco eléctrico ocurre cuando existe una inconsistencia eléctrica en el circuito telefónico. El bucle telefónico convencional consta de un par de hilos sobre los que se transmite de manera bidireccional. En el teléfono y en las centrales telefónicas se separan los dos sentidos de transmisión mediante bobinas híbridas. Como estos dispositivos no son perfectos, la separación de señales no es completa y aparecen reflejos indeseados de las señales hacia los focos emisores (eco eléctrico). Al superar 50 ms de retardo, es necesario utilizar mecanismos de supresión o cancelación de ecos. Esta inconsistencia eléctrica es llamada incongruencia de impedancia.

Si la línea tiene una buena congruencia de impedancia, se considera que el híbrido está balanceado, con poca o ninguna energía reflejada. Sin embargo, si el híbrido está balanceado inadecuadamente, y una porción de la voz transmitida es reflejada de vuelta hacia el lado receptor, se genera un eco.

El eco siempre está presente

Algunas formas de eco siempre están presentes. Sin embargo, el eco llega a ser un problema bajo las siguientes condiciones:

- La magnitud o volumen del eco es alto.
- El retardo de tiempo entre cuando se habla y cuando el que habla escucha su voz reflejada es significativa.
- El oyente escucha al hablante dos veces.

Los dos componentes del eco son volumen y retardo. Reduciendo cualquiera de los componentes reduce el eco global. La tolerancia al eco varia, para la mayoría de los usuarios, el retardo del eco sobre 50 ms es generalmente problemático.

Administración del Eco

Existen dos formas para solventar el problema del eco en una red telefónica:

- **Supresión de eco:** La supresión de eco trabaja transmitiendo la voz hacia delante y evitando el audio en la dirección de retorno. La supresión de eco esencialmente interrumpe la ruta de retorno de transmisión, es decir, anula temporalmente la comunicación en una dirección.
- **Cancelación de eco:** La cancelación de eco usa un circuito especial para construir un modelo matemático del patrón de voz transmitida y la sustrae desde la ruta de retorno. La cancelación de eco utiliza la misma tecnología que es usada en los auriculares para cancelar el ruido ambiental. La cancelación de eco es el método más común de eliminar el eco en las redes telefónicas actuales.

II.9. Redes de telefonía de paquetes

II.9.1. Beneficios de las redes telefónicas basadas en paquetes

Tradicionalmente, el potencial ahorro en costos de larga distancia fue impulsado detrás de la migración a redes de voz y datos convergentes.

Los beneficios de la telefonía por paquetes en contraste con la telefonía por conmutación de circuitos son los siguientes:

- **Uso más eficiente del ancho de banda y de los equipos:** Las redes tradicionales de telefonía usan un canal de 64Kbps para cada llamada de voz. La telefonía por paquetes comparte el ancho de banda entre múltiples conexiones lógicas y descarga el volumen de tráfico de switches de voz existentes.
- **Costos de transmisión bajos:** Una gran cantidad de equipos se necesita para combinar canales de 64 kbps para cada llamada de voz en enlaces de alta velocidad para transportar a través de la red. La telefonía por paquetes multiplexa estadísticamente el tráfico de voz junto al tráfico de data. Esta consolidación representa un ahorro sustancial en equipos importantes y costos de operaciones.
- **Gastos de red de voz y datos integrados:** Las redes de voz son convertidas para utilizar la arquitectura de conmutación de paquetes para crear una sola red de comunicaciones integradas con un sistema de conmutación y transmisión común. El beneficio es el ahorro significativo de costos en equipos de red y operaciones.
- **Incremento en los ingresos por implementación de nuevos servicios:** La telefonía por paquetes permiten habilitar nuevos servicios integrados, tales como audio con calidad de difusión, mensajería unificada, y colaboración de

voz y data en tiempo real. Estos servicios incrementan la productividad de los empleados y márgenes de ganancia sobre aquéllos de servicios de la voz básicos. Adicionalmente, estos servicios permiten a las compañías y proveedores de servicios diferenciarse entre ellos y mejorar su posición en el mercado.

- **Mayor innovación en servicios:** Las comunicaciones unificadas usan la infraestructura IP para consolidar métodos de comunicaciones que anteriormente eran independientes; por ejemplo, fax, mensajes de voz, e-mail, teléfonos cableados, teléfonos inalámbricos, y la web. La infraestructura IP provee a los usuarios con un método común de acceder mensajes e iniciar comunicaciones en tiempo real independientemente del tiempo, ubicación o dispositivo.
- **Acceso a nuevos dispositivos de comunicaciones:** La tecnología de paquetes puede alcanzar dispositivos que son ampliamente inaccesibles para las infraestructuras TDM (Time Division Multiplexing/Multiplexación por división de tiempo) actuales. Algunos ejemplos son las computadoras, dispositivos inalámbricos, asistentes digitales personales, entre otros. El acceso inteligente a estos dispositivos permite a las compañías y proveedores de servicios incrementar el volumen de comunicaciones que ellos manejan, la amplitud de los servicios que ofrecen y el número de suscriptores que tienen. La tecnología de paquetes, por lo tanto, permite a las empresas comercializar nuevos dispositivos, incluyendo videófonos, terminales multimedia y teléfonos IP avanzados.
- **Estructura de nuevos precios flexibles:** Las compañías y proveedores de servicios con redes de conmutación de paquetes pueden transformar sus modelos de servicios y precios. Porque el ancho de banda de una red puede ser asignado dinámicamente, el uso de la red ya no necesita ser medido en minutos o distancia. La asignación dinámica le da a los proveedores de

servicios la flexibilidad de cumplir con las necesidades de sus clientes de manera que les trae mayores beneficios.

II.9.2. Entrega de tráfico de tiempo real en una red de mejor esfuerzo (best-effort)

La voz y la data pueden compartir el mismo medio; sin embargo, sus características de tráfico difieren ampliamente: La voz es tráfico de tiempo real y la data es típicamente enviada como tráfico de mejor esfuerzo.

Una red IP de mejor esfuerzo es una red en donde no se garantiza la entrega, el retardo o la sincronización.

Las redes telefónicas tradicionales fueron diseñadas para transmisiones de voz en tiempo real. Los recursos son reservados punto a punto en base a cada llamada y no son liberados hasta que la llamada sea terminada. Estos recursos garantizan que la voz fluya de una forma ordenada. Una buena calidad de la voz depende de la capacidad de la red para entregar voz con retardo garantizado y programado.

Las redes tradicionales de datos fueron diseñados para transmisión de paquetes de mejor esfuerzo. Las redes de telefonía por paquetes transmiten con entrega, retardo y programación no garantizados. El manejo de datos es efectivo en este escenario porque los protocolos de capas superiores, tales como TCP, proveen transmisión de paquetes confiable. TCP cambia retardo por confiabilidad. La data típicamente tolera cierta cantidad de retardo y no es afectado por la variación del retardo entre paquetes.

Una red bien diseñada punto a punto es requerida cuando se converge tráfico sensible al retardo, como VoIP, con tráfico de datos de mejor esfuerzo. Entonar la red para

soportar de forma adecuada VoIP envuelve una serie de protocolos y características para mejorar la calidad de servicio (Quality of Services: QoS). Debido a que la red es, por defecto, de mejor esfuerzo, se deben tomar medidas para asegurar un comportamiento adecuado del tráfico de tiempo real y el tráfico de mejor esfuerzo. Las redes de telefonía sobre paquetes tienen éxito, en gran parte, debido a los parámetros de QoS implementados en la red.

II.9.3. Requerimientos de voz en una red IP de Mejor Esfuerzo (Best-Effort)

Para implementar una solución de VoIP en un ambiente IP se debe entender como opera una red IP y cual es su impacto sobre el tráfico de voz. La pérdida de paquetes (Packet loss), el retardo (Delay) y la variación del retardo (Jitter) son algunos de los retos que la voz encuentra en un ambiente IP.

A pesar de que el tráfico de voz es tráfico de mejor esfuerzo y puede resistir cierta cantidad de retardo, variación del retardo y pérdidas, es tráfico de tiempo real que requiere ciertos niveles de Calidad de Servicio (QoS). En ausencia de parámetros de QoS, los paquetes de voz son tratados simplemente como otros paquetes de datos.

Las redes por paquetes se deben optimizar para que soporten los requisitos de calidad de servicio (QoS) en cuanto a la transmisión de voz de alta calidad. Sin optimización, las redes por paquetes introducen retrasos variables y pérdida de información en tiempo real por varias razones. Estos efectos degradan la calidad de voz en llamadas realizadas a través de la red.

Se debe tener una red bien diseñada, punto a punto, cuando se ejecutan aplicaciones sensibles al retardo tales como VoIP.

En las redes de telefonía tradicional, la voz tiene un retardo garantizado a través de la red asociando de forma estricta el ancho de banda con cada flujo de voz. Configurando voz en un ambiente de red de datos requiere servicios de red con bajo retardo, variación del retardo mínimo y pérdida de paquetes mínimo.

II.9.4. Control de llamadas en redes telefónicas basadas en paquetes

El control de llamadas permite a los usuarios establecer, mantener y desconectar un flujo de voz a través de la red.

Aunque diferentes protocolos abordan el control de llamadas de formas distintas, todos proveen un conjunto de servicios comunes. Los siguientes son componentes básicos del control de llamadas:

- **Establecimiento de la llamada (Call setup):** Chequea la configuración de enrutamiento de la llamada para determinar el destino de la llamada. La configuración específica los requerimientos de ancho de banda para la llamada. Cuando los requerimientos de ancho de banda son conocidos, el Control de Admisión de Llamadas (Call Admisión Control: CAS) determina si hay suficiente ancho de banda disponible para soportar la llamada. Si hay ancho de banda disponible, el establecimiento genera un mensaje de configuración (setup) y lo envía al destino. Si no hay ancho de banda disponible, el establecimiento de la llamada notifica al iniciador presentando una señal de ocupado. Los diferentes protocolos de control de llamada, tales como H.323, Media Gateway Control Protocol (MGCP) y Session Initiation Protocol (SIP), definen conjuntos diferentes de mensajes a ser intercambiados durante el establecimiento.

- **Mantenimiento de la llamada (Call maintenance):** Rastrea el número de paquetes, pérdida de paquetes, el retardo y la variación del retardo cuando la llamada es establecida.
- **Finalización de la llamada (Call teardown):** Notifica a los dispositivos habilitados para voz a liberar recursos y hacerlos disponibles para la próxima llamada cuando alguna parte termine la llamada.

II.9.4.1. Control de llamada Distribuido

El control de llamada distribuido representa un ambiente donde el control de la llamada es manejado por múltiples componentes en la red. El control de llamadas distribuido es posible donde el dispositivo habilitado para VoIP es configurado para soportar control de llamadas directamente. Este es el caso con un gateway de voz cuando los protocolos, tales como H.323 o SIP, están habilitados en el dispositivo.

El control distribuido de llamadas permite al gateway realizar los siguientes procedimientos:

- Reconocer la petición de servicios
- Procesar los dígitos marcados.
- Enrutar la llamada
- Supervisar la llamada
- Terminar la llamada.

II.9.4.2. Control de llamada centralizado

El control centralizado de llamadas permite a un dispositivo externo (agente de llamada: call agent) manejar la señalización y procesamiento de la llamada, dejando al gateway la traducción de señales de audio a paquetes de voz después del establecimiento de la llamada. El agente de llamadas es responsable por todos los aspectos de señalización, así ordena al gateway a enviar señales específicas en momentos específicos.

Cuando una llamada es configurada:

- La ruta de voz es establecida directamente entre los dos gateways y no envuelve el call agent.
- Cuando cualquiera termina la llamada, el call agent señala al gateway para que libere los recursos y esperar otra llamada.

El uso de dispositivos de control de llamadas centralizado tiene los siguientes beneficios:

- Centraliza la configuración para el enrutamiento de llamadas y CAC.
- El call agent es el único dispositivo que necesita la inteligencia para entender y participar en las funciones de control de llamadas.

II.5. Recomendación H.323

El estándar H.323 define los métodos para la comunicación de voz y vídeo sobre redes de paquetes. H.323 y sus recomendaciones ITU-T asociadas representan un ambiente distribuido para establecer comunicaciones de voz, video y data en una red con QoS no garantizado que es típico de una red IP.

La recomendación H.323 describe una infraestructura de terminales, componentes de control común, servicios y protocolos que son usados para comunicaciones multimedia (voz, video y data).

H.323 es considerado un “protocolo paraguas” porque define todos los aspectos de la transmisión de llamadas, desde el establecimiento de la llamada al intercambio de capacidades a la disponibilidad de los recursos de red. H.323 define los siguientes protocolos:

- H.245 para intercambio de capacidades
- H.225.0 para establecimiento de llamada (call setup).
- H.225.0 para control de registro, admisión y estado (RAS) del enrutamiento de llamadas.

H.323 se basa en el protocolo ISDN Q.931, el cual permite que H.323 se comunique fácilmente con redes de voz legados, tales como la PSTN o SS7.

Componentes funcionales de H.323

Terminales H.323: Un Terminal H.323 es un punto final (endpoint) que provee comunicaciones de voz en tiempo real (y opcionalmente, video y data) con otro punto

final, tales como terminales H.323, gateways o Unidades de Control Multipunto (MCU).

Un Terminal H.323 debe ser capaz de transmitir y recibir voz codificada en modulación por pulsos codificados (PCM) G.711 a 64 kbps, y puede soportar otros formatos codificados, tales como G.729 y G.723.1.

Gateways H.323: Un gateway H.323 es un tipo de punto final opcional que provee interoperabilidad entre puntos finales H.323 y puntos finales ubicados en una red de conmutación de circuitos (Switched-Circuit Network: SCN) tales como la PSTN o una red de voz corporativa. Un gateway H.323 provee los siguientes servicios:

- Traducción entre formatos de audio, video y data.
- Conversión entre señales de establecimiento de llamadas y procedimientos.
- Conversión entre señales de control de comunicaciones y procedimientos.

Gatekeeper: Un gatekeeper es un componente opcional que provee soporte para control de llamadas y servicios a puntos finales H.323. El alcance de un punto final sobre el cual un gatekeeper tiene autoridad es llamada zona. H.323 define una relación uno-a-uno entre una zona y un gatekeeper.

Cuando un gatekeeper es incluido, debe realizar las siguientes funciones:

- **Traducción de direcciones:** Convierte una dirección alias a una dirección IP.
- **Control de admisión:** Limita el acceso a los recursos de la red basado en restricciones de ancho de banda de llamadas.
- **Control de ancho de banda:** Responde a requerimientos y modificaciones de ancho de banda.
- **Administración de zona:** Provee servicio a los puntos finales registrados.

El gatekeeper también puede realizar:

- **Señalización de control de llamadas:** Realiza señalización de llamadas en nombre de puntos finales.
- **Autorización de llamadas:** Rechaza llamadas basadas de fallas de autorización.
- **Administración de ancho de banda:** Limita el número de accesos concurrentes a los recursos de la red IP (Control de Admisión de Llamadas [CAC]).
- **Administración de llamadas:** Mantiene un registro de las llamadas salientes.

Componentes de Conferencia Multipunto: El soporte para conferencias multipunto es provisto por los siguientes tres componentes funcionales:

- **Controlador multipunto (Multipoint Controller: MC):** Un MC provee las funciones necesarias para soportar conferencias envolviendo tres o más puntos finales.
- **Procesador multipunto (Multipoint Processor: MP):** Un MP agrega funcionalidad a las conferencias multipunto. Un MP puede recibir múltiples flujos de entradas multimedia, procesar los flujos conmutándolos y mezclándolos y entonces retransmitiendo el resultado a todos o algunos de los miembros de la conferencia.
- **Unidad de Control Multipunto (Multipoint Control Unit: MCU):** Un MCU es modelado como un punto final que provee soporte para las conferencias multipunto incorporando un MC y cero o más MPs.

II.12. Teoría de tráfico

La ingeniería de tráfico se ocupa del mejor compromiso entre costo y prestaciones; los ingenieros de tráfico calculan que cantidad de equipo se requiere para manejar un

cierto nivel de tráfico, en términos de número de llamadas y duración promedio de las mismas. La teoría de tráfico es importante en una solución de VoIP debido a que en estas se necesita calcular la cantidad de troncales que se utilizarán entre la red de datos y la red tradicional a través de una PBX. Estos troncales cursarán el tráfico de voz que se convertirá en paquetes para ser transportados a través de la red de datos.

Una cantidad de equipos dada va a garantizar, por ejemplo, que un suscriptor puede efectuar con éxito 98 llamadas sobre 100; la probabilidad de no lograrlo será entonces menor del 2%.

Con el fin de obtener una indicación del número de llamadas simultáneas en progreso a cualquier hora dada, se hace necesario estudiar la distribución de las llamadas con respecto al tiempo. Los datos requeridos se obtienen convenientemente efectuando una investigación del volumen de tráfico que se cursa por unidad de tiempo. Dicha cantidad es la intensidad de tráfico y se representa a menudo con la letra A. Se define como el volumen de tráfico por unidad de tiempo y se expresa usualmente en llamadas-hora por hora. Esta unidad es conocida bajo el nombre de erlang (Erl), y es adimensional. Un erlang es la cantidad de tráfico que un troncal puede manejar en una hora. El tráfico de 1 erlang por un circuito significa una ocupación continua del mismo. Si un teléfono permanece ocupado 6 minutos cada hora, el tráfico es $6/60$, es decir 0.1 erlang. Si por ese teléfono se habla una hora completa, entonces se ha generado 1 erlang de tráfico. Si en vez de un teléfono o una línea, consideramos un grupo de circuitos que llevan varias llamadas, entonces la intensidad de tráfico (en erlang) es el número de llamadas por hora multiplicado por la duración total, en horas, de esas llamadas. Por ejemplo, si se sabe que un grupo de 10 circuitos lleva un tráfico de 5 erlang, se puede esperar que la mitad de esos circuitos se encuentren ocupados en un dado momento. En otras palabras, el tráfico en erlang indica la cantidad promedio de llamadas simultáneas en progreso o de circuitos promedios ocupados. Como ejemplo, considérese una central privada (PBX) de 1000 líneas; si

cada extensión permanece ocupada en promedio 3 minutos en 1 hora, el tráfico en cada extensión es 0.05 erlang. Al multiplicar este valor por el número de extensiones, se obtiene que la central puede manejar un tráfico de 50 erlang.

Las centrales (o nodos) de conmutación están conectadas entre sí por canales llamados enlaces troncales. El número de enlaces que conecta una central con otra es el número de circuitos de voz (o su equivalente) que se usan para la conexión. Uno de los aspectos más importantes en el diseño de una red, es determinar el número de troncales necesarios en una ruta dada o en una conexión dada entre centrales. Se habla entonces de dimensionar la ruta y para esto se necesita tener una idea de su utilización, esto es cuantas llamadas van a poder cursar simultáneamente.

El grado de servicio indica la probabilidad de que haya bloqueo de una llamada y se representa usualmente con la letra p. Un grado de servicio típico es $p = 0.01$, lo cual significa que en promedio una llamada sobre 100 no va a poder cursarse durante la hora pico por falta de suficientes recursos.

Cuando se dimensiona una ruta se desea encontrar el número de circuitos requeridos. Hay varias fórmulas disponibles para encontrar ese número, basándose en el tráfico en la hora pico. Los factores que se deben considerar son: distribución del tiempo de llegada de las llamadas y de su duración, número de usuarios (fuentes), disponibilidad y manejo de las llamadas bloqueadas. La fórmula Erlang B es quizás una de las más utilizadas y se puede conseguir en tablas. Ver anexo A.

Si se conoce la cantidad de tráfico generado y el grado de servicio requerido, entonces se puede calcular el número de troncales requeridos para cumplir con las necesidades de tráfico. Para hacerlo se debe utilizar la siguiente formula:

$$A = C * T$$

En la ecuación, A es el tráfico ofrecido, C es el número de llamadas originadas durante un periodo de una hora, y T es el promedio de tiempo sostenido de una llamada.

II.13. Planes de Numeración de Voz

Un plan de numeración o marcado contiene patrones específicos de marcado para un usuario que desea alcanzar un número de teléfono particular. Los planes de numeración también contienen códigos de acceso, códigos de área, códigos especializados y otros.

Los planes de numeración requieren el conocimiento de la red, estructuras de marcado de números telefónicos existentes, ubicación de routers y gateways y requerimientos de enrutamiento de tráfico. Típicamente, las empresas que implementan redes de VoIP transportan tráfico de voz por los sistemas y rutas menos costosos. Implementando este tipo de sistemas envuelve el enrutamiento de llamadas a través de redes IP, troncales privados, PBXs, sistemas clave y la PSTN. El plan de numeración debe ser escalable, fácil de entender por el usuario y transportable entre todos los componentes del sistema. Cuando se diseña un plan de numeración este debe tener los siguientes atributos:

- Distribución lógica.
- Diseño jerárquico (Escalabilidad).
- Simplicidad en el aprovisionamiento.
- Reducción del retardo de post-marcado.
- Disponibilidad y tolerancia a fallas.

La configuración de los iguales de conexión telefónica (dial peer) es la clave para establecer planes de numeración e implementar voz sobre redes de paquetes. Un router necesita manipular los dígitos en una cadena de marcado antes de pasarla a un dispositivo telefónico. Los iguales de conexión telefónica se utilizan para determinar para cada llamada los números de teléfono de origen y destino y las direcciones de la red de datos. Por ejemplo, para identificar un Terminal telefónico conectado a un router se debe crear un igual de conexión telefónica donde se identifica el número telefónico y el puerto al que está conectado.

Un igual de conexión telefónica es un punto final (endpoint) de una llamada direccionable. Esta dirección es llamada patrón de destino (destination pattern) y es configurada en cada dial peer. El patrón de destino puede apuntar solo a un número telefónico o a un rango de números telefónicos usando números explícitos o comodines variables para definir un número telefónico o un rango de números.

Todas las llamadas procesadas por un router están asociadas a un igual de conexión telefónica entrante cuando las llamadas entran en el router y a un igual de conexión telefónica saliente cuando las llamadas abandonan el router. Esto es cierto si las llamadas entran al router desde un puerto de voz o desde una conexión de red. A continuación se resumen los diferentes tipos de iguales de conexión telefónica que controlan las llamadas entrantes y salientes desde ambos puertos de voz y conexiones de red:

Tabla N° 8: Tipos de iguales de conexión telefónica. Fuente: Cisco Voice over IP CVOICE v4.2

Tipo de igual de conexión telefónica	Descripción
POTS entrante	Llamadas entrando en un router mediante un puerto de voz
VoIP saliente	Llamadas abandonando un router mediante una conexión de red
VoIP entrante	Llamadas entrando en un router mediante una conexión de red
POTS saliente	Llamadas abandonando un router mediante un puerto de voz

Cuando una llamada es colocada, un dispositivo de borde genera dígitos marcados como una forma de señalar donde la llamada debe terminar. Cuando estos dígitos entran en un puerto de voz de un router, el router debe tener una forma de decidir donde la llamada debe ser enrutada, y donde la llamada debe ser enviada. El router hace esto a través de la lista de iguales de conexión telefónica.

El router usa los iguales de conexión para establecer conexiones lógicas. Estas conexiones lógicas, conocidas como patas de llamada (call legs), son establecidas en dirección entrante o saliente.

Existen dos tipos de dial peers en routers habilitados para VoIP:

- **Dial peer POTS:** Conecta a redes telefónicas tradicionales, tales como la PSTN o una PBX, o a un dispositivo telefónico de borde tales como una teléfono o una máquina de fax. Los dial peers POTS realizan las siguientes funciones:

- Proveen una dirección (número telefónico o un rango de números) para la red o dispositivo de borde.
- Apunta a un puerto de voz específico que conecta a una red o dispositivo de borde.

POTS (Plain Old Telephone Service o viejo servicio telefónico) se refiere a la manera en como se ofrece el servicio telefónico analógico (o convencional).

- **Dial peer VoIP:** Conecta a una red de paquetes. Los dial peer de voz sobre IP realizan las siguientes funciones:

- Proveen una dirección de destino (número telefónico o rango de números) para un dispositivo de borde que se encuentra localizado a través de la red.
- Asocia una dirección de destino con un router de destino.

La siguiente figura muestra la configuración de los iguales de conexión telefónica. En la figura, la configuración del igual de conexión POTS incluye el número de teléfono del dispositivo telefónico y el puerto de voz al cual está conectado. El router sabe donde enviar las llamadas entrantes para el número telefónico. El igual de conexión telefónica de VoIP en el router habilitado para voz es conectado a la red de paquetes. La configuración del igual de conexión telefónica de VoIP incluye el número telefónico de destino (o rango de números) y la dirección de red del router habilitado para voz de destino.

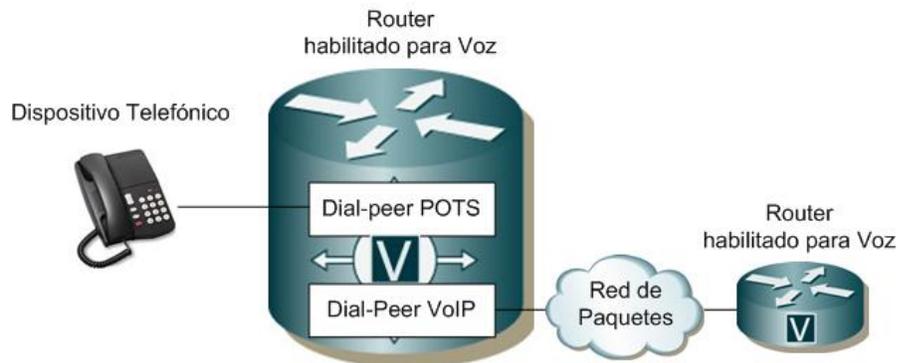


Figura N° 4: Configuración de iguales de conexión telefónica. Fuente: Cisco Voice over IP CVOICE v4.2

II.14. Calidad de Servicio (QoS)

Como las aplicaciones de usuarios continúan impulsando el crecimiento y evolución de la red, la demanda para soportar diferentes tipos de tráfico también se incrementa. Diferentes tipos de aplicaciones con diferentes requerimientos de red crean la necesidad de políticas administrativas que establecen cómo las aplicaciones individuales serán tratadas por la red. El tráfico de red de aplicaciones críticas de negocio y aplicaciones sensibles al retardo como VoIP debe ser protegido de otros tipos de tráfico y tratados con prioridad.

El empleo y cumplimiento de las políticas de calidad de servicio dentro de la red juega un rol esencial permitiendo a los administradores de red cumplir las demandas de las aplicaciones de red. La calidad de servicio es un elemento crucial de cualquier política administrativa que requiere conocer como manejar el tráfico de las aplicaciones en la red. La Calidad de Servicio (QoS) es el conjunto de tecnologías que permiten a las aplicaciones de red solicitar y recibir niveles de servicio en ancho de banda, propagación y variaciones de retardo (jitter).

QoS da a la red la habilidad de proveer un mejor o especial servicio a un conjunto de usuarios/aplicaciones en detrimento de otros usuarios/aplicaciones.

Las características de QoS permiten a los administradores de red controlar y servir de forma predecible una amplia variedad de aplicaciones de red y tipos de tráfico.

El objetivo de QoS es proveer un servicio predecible de red proporcionando ancho de banda dedicado, latencia, variación del retardo y pérdida controlados. QoS consigue estos objetivos proporcionando herramientas para manejar la congestión de la red, modelar el tráfico, usar enlaces de área amplia más eficientemente y establecer políticas de tráfico a través de la red. QoS ofrece servicios de red inteligentes que, cuando son aplicados correctamente, ayudan a proveer un rendimiento consistente y predecible.

Con el surgimiento de redes incorporando muchos tipos de tráfico con diferentes requerimientos, QoS llega a ser un componente esencial en una red.

II.14.1. Necesidad de Calidad de Servicio

Una red de comunicaciones forma la columna vertebral de cualquier empresa exitosa. Estas redes transportan una gran cantidad de aplicaciones y datos, incluyendo aplicaciones de negocio críticas y data sensible al retardo como voz en tiempo real. Algunas aplicaciones de ancho de banda intensivo consumen las capacidades y recursos de una red, pero también complementan, dan valor y mejoran cada proceso de negocio. Las redes deben proveer servicios seguros, predecibles, calculables y algunas veces garantizados. Logrando la calidad de servicio requerida manejando el retardo, la variación del retardo, el ancho de banda y la pérdida de paquetes en una red llega a ser el secreto para una solución de negocios exitosa punto a punto.

II.14.2. Modelos para implementar QoS

Existen tres diferentes modelos para implementar QoS en una red. El modelo Best-Effort (Mejor Esfuerzo) que fue diseñado para paquetes con entrega no garantizada. Este modelo es actualmente predominante en Internet. El modelo de Servicios Integrados (IntServ: Integrated Services) fue introducido para suplementar la entrega de mejor esfuerzo proporcionando ancho de banda para aplicaciones que requieren ancho de banda y retardo garantizados. El modelo IntServ espera que las aplicaciones señalicen sus requerimientos a la red. El modelo de Servicios Diferenciados (DiffServ: Differentiated Services) fue creado para proveer mayor escalabilidad al proporcionar QoS a los paquetes IP. La principal diferencia entre el modelo IntServ y el modelo DiffServ es que este último reconoce los paquetes (no se necesita señalización) y les provee el servicio adecuado.

A continuación se describen los modelos de implementación de QoS:

Modelo de Mejor Esfuerzo: Este es el modo por defecto para todos los paquetes. Si no se implementan políticas de QoS los paquetes son reenviados usando el modelo de mejor esfuerzo. Todos los paquetes de la red son tratados de la misma forma. Sin políticas de QoS implementadas, la red no puede saber la diferencia y, como resultado, no puede tratar paquetes de forma preferencial.

Modelo de Servicios Integrados: Algunas aplicaciones, tales como video de alta resolución y voz, requieren ancho de banda consistente y dedicado para proveer suficiente calidad. El modelo IntServ fue introducido para garantizar un comportamiento de la red predecible para estas aplicaciones. Debido a que el modelo IntServ reserva ancho de banda en la red, ningún otro tráfico puede usar el ancho de banda reservado. El ancho de banda no usado, pero reservado, es desperdiciado. Con IntServ características tales como ancho de banda, retardo y frecuencia de pérdida de

paquetes, son garantizados punto a punto. Esto asegura niveles de servicios predecibles y garantizados para aplicaciones críticas. Esta garantía requiere un enfoque de QoS punto a punto con complejidad y limitaciones de escalabilidad. En grandes ambientes de red que contienen cargas de tráfico altos puede ser un desafío seguir la pista de garantías de QoS para cientos o miles de flujos señalizados. IntServ asegura calidad y entrega, es costoso y no escalable. El modelo IntServ hereda el enfoque orientado a conexión de la red telefónica.

En este modelo la aplicación solicita un tipo específico de servicio a la red antes de enviar la data. IntServ utiliza Resource Reservation Protocol (RSVP) para proveer control de admisión de recursos para redes de VoIP. Si los recursos están disponibles, RSVP acepta la reservación. RSVP es un servicio IP que permite a los sistemas finales o terminales en cualquier lado de la red establecer una ruta con ancho de banda reservado entre ellos para determinar y asegurar QoS para su transmisión de datos.

La aplicación informa a la red sobre su perfil de tráfico y solicita un tipo de servicio particular que abarca sus requerimientos de ancho de banda y retardo. La aplicación espera para enviar la data solo después de obtener la confirmación de la red. La red realiza control de admisión basado en la información proporcionada por la aplicación y los recursos de red disponibles.

Modelo de Servicios Diferenciados: El modelo DiffServ fue diseñado para superar las limitaciones de los modelos IntServ y Best-Effort. El modelo DiffServ puede proveer QoS “casi garantizado” mientras es escalable y poco costoso.

Este modelo usa mecanismos de QoS sin señalización previa. Las características de QoS (Ancho de banda y retardo, por ejemplo), son manejados en cada equipo por políticas que son establecidas independientemente de cada dispositivo intermedio en

la red. El enfoque del modelo DiffServ es más escalable que el de IntServ debido a que muchas aplicaciones pueden ser mapeadas en un pequeño grupo de clases sobre las cuales un conjunto similar de comportamientos o políticas de QoS son aplicados. A pesar de que los mecanismos de QoS en este enfoque son impuestos y aplicados salto a salto (hop-by-hop), la aplicación global uniforme significa que cada clase de tráfico provee flexibilidad y escalabilidad.

Con DiffServ, el tráfico de red es dividido en clases basado en los requerimientos de negocios. A cada clase se le puede asignar un nivel diferente de servicio. A medida que el paquete viaja a través de la red, cada dispositivo de red identifica la clase del paquete y trata el paquete de acuerdo a las políticas definidas para esa clase.

II.14.2. Redes convergentes

II.14.2.1. Antes de la convergencia de las redes

Antes de la convergencia de las redes, los ingenieros de red se enfocaban en la conectividad. La frecuencia a la cual la data llega a la red resulta en flujos de datos en ráfagas. Los datos, que llegan en paquetes, intentan obtener tanto ancho de banda como puedan en cualquier momento dado. El acceso fue muy igualitario, el primero en llegar era el primero servido. Quién llegaba primero obtenía el ancho de banda.

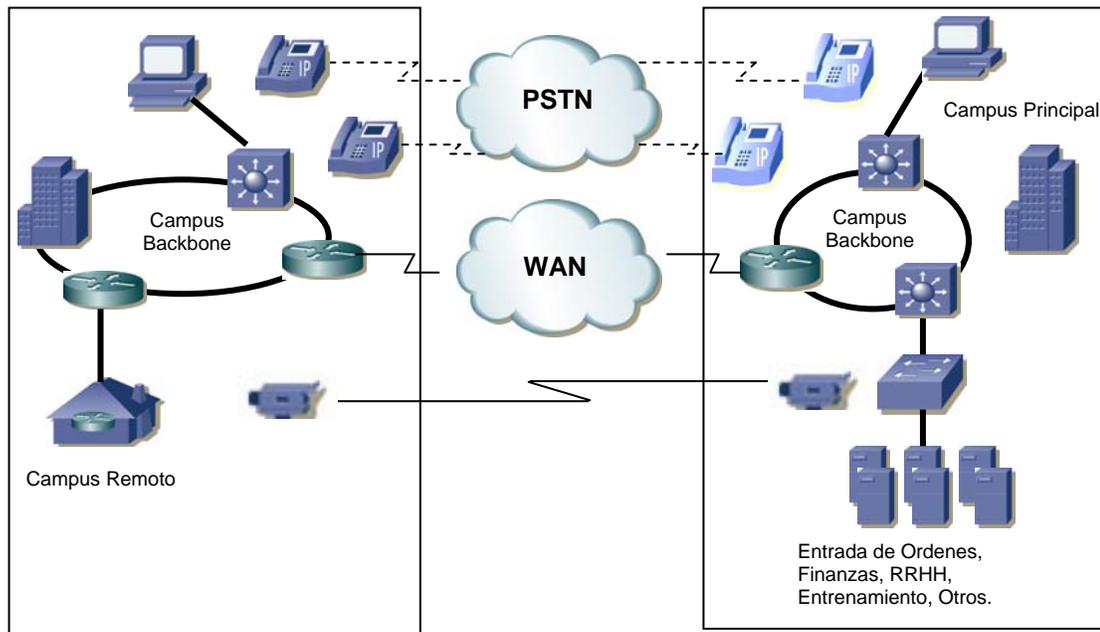


Figura N° 5: Antes de la convergencia de redes. Fuente: Implementing Cisco Quality of Service. Versión 2.0.

Como resultado de esta anárquica forma de atacar la red, la data es adaptable a las condiciones de la red.

Los protocolos que se han desarrollado han sido adaptados a la naturaleza de ráfaga de las redes de datos, y estos pueden resistir cortes breves en la red. Por ejemplo, si se está bajando un correo, un retardo de pocos segundos generalmente no es perceptible. Un retardo de minutos es molesto, pero no serio.

Las redes tradicionales también tienen requerimientos para aplicaciones tales como la data, video y SNA (Systems Network Architecture). Debido a que cada aplicación tiene diferentes características y requerimientos de tráfico, los diseñadores de tráfico desarrollaron redes no integradas para transportar un tipo de tráfico específico: Red de datos, red SNA, red de Voz y red de Video. SNA es una arquitectura de red

establecida por IBM, con una estructura jerárquica, que define la forma en como se comunican sistemas y terminales.

II.14.2.2. Después de la convergencia de las redes

La siguiente figura representa una red en el cual la voz, video y el tráfico de datos usa las mismas instalaciones. Uniendo estos diferentes flujos de tráfico con requerimientos dramáticamente diferentes puede llevar a un gran número de problemas.

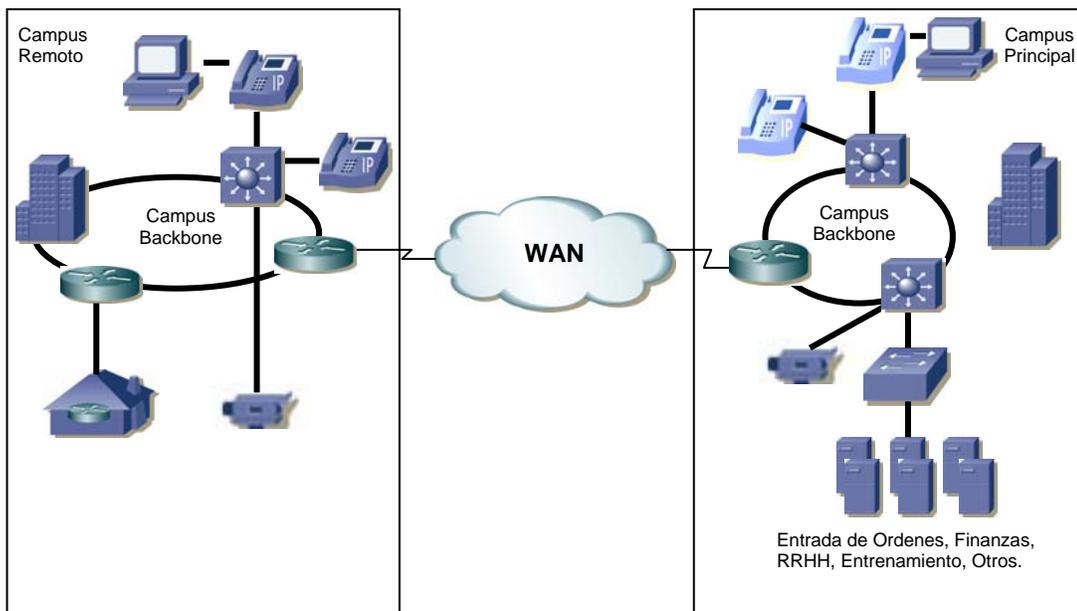


Figura N° 6: Después de la convergencia de redes. Fuente: Implementing Cisco Quality of Service. Versión 2.0.

Aunque los paquetes que transportan tráfico de voz son típicamente muy pequeños, estos no pueden tolerar el retardo y la variación del retardo cuando viajan a través de la red. La voz se corta y las palabras llegan a ser incomprensibles.

Por otro lado, los paquetes que transportan datos de transferencia de archivos son típicamente grandes y pueden sobrevivir los retardos y las pérdidas. Es posible retransmitir parte del archivo (data) perdido, pero no es factible retransmitir una parte de una conversación (voz).

El constante, pero pequeño flujo de paquetes de voz compite con ráfagas de flujos de datos. A menos que algún mecanismo medie el flujo global, la calidad de la voz se verá seriamente comprometida durante una congestión de red. El tráfico de voz crítico debe tener prioridad.

El tráfico de voz es muy sensible al tiempo. No puede ser retrasado y no puede ser descartado o la calidad resultante de la voz se verá afectada.

Finalmente, las redes convergentes no pueden fallar. Mientras la transferencia de un archivo o un paquete de e-mail pueden esperar hasta que la red se recupere, los paquetes de voz y video no. Incluso una breve interrupción en una red convergente puede afectar seriamente las operaciones de negocio de la empresa.

II.14.2.3. Problemas de Calidad en redes convergentes

Con una inadecuada preparación de la red, la transmisión de voz es discontinua e incomprensible. Las deficiencias en la conversación son particularmente problemáticas donde las partes de la conversación son intercaladas con el silencio, y la voz literalmente desaparece. En un sistema de mensajes de voz este silencio es un problema.

La pobre interactividad del llamante es una consecuencia del retardo. Esto causa dos problemas: Eco y superposición de hablantes:

- El eco es causado por la reflexión de la señal de la voz del hablante desde el aparato telefónico en el punto final de regreso al oído del hablante.
- La superposición de hablantes es causada cuando el retardo en un sentido es mayor de 250 ms. Cuando esto ocurre las dos personas en una conversación pueden hablar al mismo tiempo.

Las llamadas desconectadas son el peor caso: Si hay cortes largos en la conversación, las personas cortaran la llamada, si hay problemas de señalización, las llamadas son desconectadas. Tales eventos son completamente inaceptables en el mundo de la voz que por el momento son muy comunes para una red de datos preparada inadecuadamente por donde se está intentando transmitir voz.

Los flujos de datos multimedia, tales como aquellos usados en Telefonía IP o videoconferencia, pueden ser extremadamente sensibles a entregar retardos y crear demandas únicas de QoS en la red subyacente que los transporta. Cuando los paquetes son entregados usando el modelo de entrega de mejor esfuerzo (best-effort), estos pueden no llegar en orden, de forma oportuna, o llegar todos. El resultado es un sonido de baja calidad, imágenes poco claras, movimientos lentos y sonidos que están fuera de sincronización con la imagen.

Los cuatro grandes problemas que se presentan en las redes convergentes corporativas son la capacidad del ancho de banda, retardo (fijo y variable), variación del retardo y pérdida de paquetes.

II.14.2.3.1. Ancho de banda disponible

Múltiples flujos de datos compiten por una cantidad de ancho de banda limitada. Por ejemplo los archivos de gráficos de gran tamaño y el uso incremental de voz y video causan problemas de capacidad de ancho de banda sobre las redes de datos.

La siguiente figura ilustra una red vacía con cuatro saltos entre un servidor y un cliente. Cada salto esta usando un medio diferente con un ancho de banda distinto. El ancho de banda máximo disponible es igual al ancho de banda del enlace más lento.

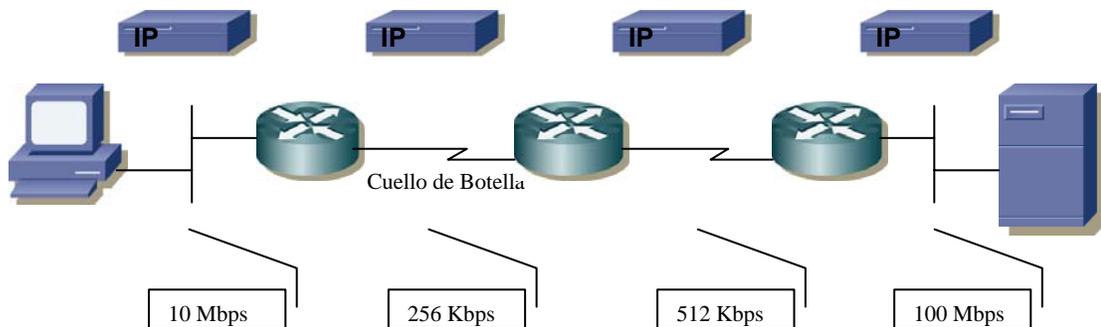


Figura N° 7: Falta de ancho de banda. Fuente: Implementing Cisco Quality of Service. Versión 2.0.

Formas de incrementar del ancho de banda

La mejor propuesta es incrementar la capacidad del enlace para acomodar todas las aplicaciones y usuarios, con algo extra de ancho de banda. Aunque esta solución suena simple, trae un alto costo en términos económicos y tiempo para implementar. Muy frecuentemente existen limitaciones tecnológicas para actualizar a un ancho de banda superior.

Otra opción es clasificar el tráfico en clases de QoS y darle prioridad de acuerdo a su importancia. (La voz y el tráfico crítico de negocio deben obtener suficiente ancho de

banda para soportar los requerimientos de sus aplicaciones, la voz debe obtener envío con prioridad, y el tráfico menos importante debe obtener el ancho de banda restante no asignado).

Optimizando el uso del enlace comprimiendo la carga útil de los paquetes (virtualmente) incrementa el ancho de banda del enlace. La compresión, por otro lado, también incrementa el retardo debido a la complejidad de los algoritmos de compresión. Usando compresión por hardware puede acelerar la compresión de la carga útil del paquete.

Otro mecanismo de eficiencia del enlace es la compresión de cabecera. Ese mecanismo es especialmente efectivo en redes donde la mayoría de los paquetes llevan una pequeña cantidad de datos. (Esto es, donde la proporción carga útil a encabezado es pequeña). Ejemplos típicos de compresión de cabecera son compresión de cabecera TCP y compresión de cabecera de Protocolo de Transporte de Tiempo Real (RTP).

II.14.2.3.2. Retardo punto a punto (Fijo y Variable)

Los paquetes tienen que viajar por muchos dispositivos de redes y enlaces que aumentan el retardo global. El retardo es el tiempo que le toma a un paquete alcanzar el punto de recepción después de ser transmitido desde el punto de envío. Este tiempo es conocido como retardo punto a punto, y consiste en dos componentes: retardo de red fijo y retardo de red variable.

- **Retardo de red fijo:** Se debe revisar el retardo fijo de la red durante el diseño inicial de la red VoIP. El estándar G.114 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) expresa que un retardo en un sentido de 150 ms es aceptable para voz de alta calidad. Investigaciones de Cisco Systems muestran

que hay una diferencia insignificante en la calidad de la voz en redes con retardos de 200 ms. Ejemplos de retardos de red fijos incluyen el retardo de propagación de señales entre los puntos de envío y recepción, retardo de codificación de voz y el tiempo de paquetización para varios codecs de VoIP.

- **Retardo de Red Variable:** Las colas de salida congestionadas y los retardos de serialización en las interfaces de red puede causar retardos variable de paquetes. El retardo de serialización es una función constante de la velocidad del enlace y del tamaño del paquete. Entre mayor sea el tamaño del paquete y más lento la velocidad de reloj del enlace, mayor será el retardo de serialización. A pesar de que la velocidad es conocida, puede ser considerado variable porque un paquete de datos grande puede entrar en la cola de salida en cualquier momento antes de un paquete de voz. Si el paquete de voz debe esperar a que el paquete de data sea serializado, el retardo incurrido por el paquete de voz es su propio retardo de serialización, más el retardo de serialización del paquete de datos frente a el.

Para la mayoría de la gente los 250ms de retardo de la voz en una red de comunicaciones es el umbral de retraso aceptable para evitar las colisiones en las conversaciones.

Es importante minimizar el retraso en las redes de voz no sólo para evitar las colisiones de conversaciones, sino también para mitigar los reflejos no deseados de la señal de audio (ecos). Al reducir el retraso extremo a extremo en su red, cualquier eco presente es menos molesto para los usuarios.

Fuentes de los retrasos

Antes de que se pueda minimizar el retraso en una red, se debe comprender las fuentes de retraso más significativas. La próxima figura traza la señal de audio a través de la red e indica los puntos principales en los que la señal se retrasa. Estos puntos presentan las siguientes fuentes de retraso:

- Procesamiento del codec.
- Formación de los paquetes
- Cola de interfaz
- Serialización
- Transmisión de la nube WAN y buffering
- Serialización de la entrada WAN
- Búfer de reproducción.

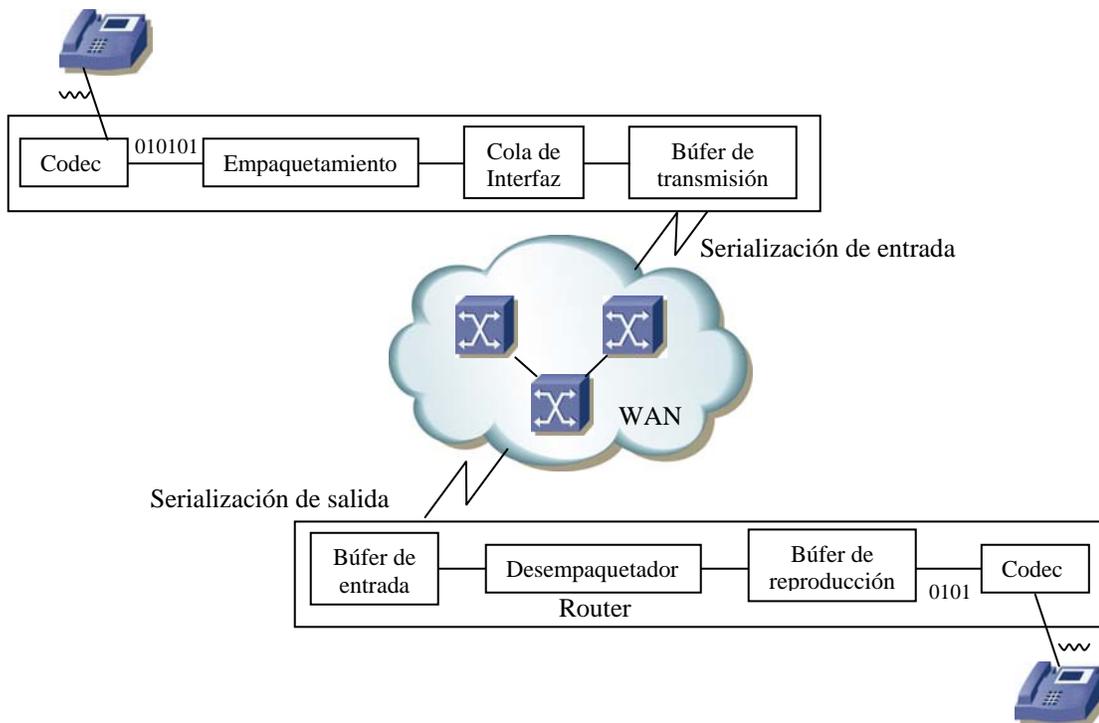


Figura N° 8: Fuentes de retraso en el procesamiento del codec de la ruta de transmisión de audio. .
Fuente: Implementing Cisco Quality of Service. Versión 2.0.

Procesamiento del codec: El primer retraso sustancial ocurre cuando un codec convierte la señal de audio de un voltaje analógico a uno digitalizado y con una representación comprimida. En general, los codecs de audio con tasas de bits menores tienen retrasos mayores. Una excepción notable es el algoritmo G.728 Predicción lineal excitada-por-codec de bajo retraso (LD-CELP), que ofrece una ratio de 16 kbps con menos de 1 ms de retraso.

Formación de paquetes o empaquetamiento: Las tramas codec (que son la salida del codificador) se sitúan en paquetes RTP/UDP/IP (para VoIP), en tramas Frame Relay (para Voz sobre Frame Relay [VoFR], o en celdas ATM (para Voz sobre ATM [VoATM]). Cuando se transmite una sola trama codec en cada paquete, trama o celda, el retraso en la formación del paquete no es una fuente de retraso significativa. Sin embargo, si múltiples tramas codec se agrupan en un solo paquete, trama o celda, entonces la primera trama codec del grupo debe esperar mientras se generan tramas codec adicionales para completar el paquete. Se debe tener esto en cuenta si incrementa el número de tramas codec por paquete, trama o celda para reducir el consumo de ancho de banda de las cabeceras.

Cola de interfaz: Una vez que las tramas codec están formadas en paquetes y preparadas para su transmisión, pueden esperar una cantidad de tiempo sustancial en un búfer de cola de interfaz lógico. Mientras los paquetes esperan en el búfer de cola, una norma administrativa arbitra el orden en que se transmiten los paquetes. Para reducir el retraso experimentando por los paquetes de voz, la política de cola debe mover los paquetes de voz a la parte delantera de la cola lógica de interfaz.

Serialización: Incluso si los paquetes de voz se mueven a la parte delantera de la cola lógica de la interfaz, pueden experimentar retraso en el búfer físico de transmisión. Si un paquete de voz alcanza el buffer después de que otro paquete comienza la transmisión, el paquete de voz debe esperar hasta que la transmisión del otro paquete

se complete. La siguiente figura ilustra este concepto. Si el otro paquete es grande, o si la velocidad de transmisión de la interfaz es baja, entonces puede transcurrir un tiempo significativo antes de que se transmita el último bit del otro paquete. El tiempo que un paquete de voz debe esperar para que el otro paquete se transmita bit a bit se llama retraso por serialización.

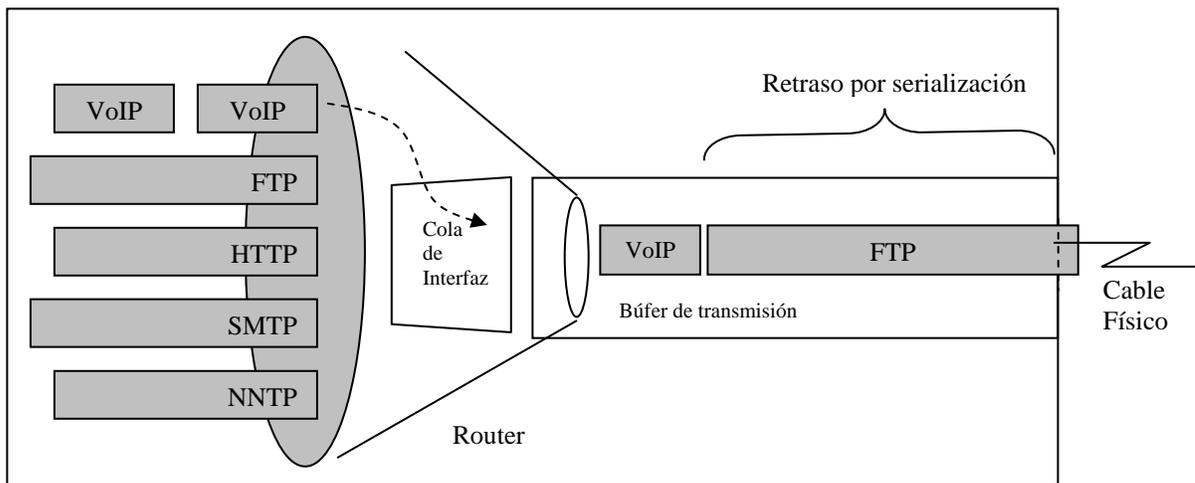


Figura N° 9: Serialización de Paquetes: Un paquete de voz debe esperar otro paquete en medio de la transmisión. Fuente: Implementing Cisco Quality of Service. Versión 2.0.

La cantidad de retraso por serialización experimentada por un paquete de voz en el búfer de transmisión depende de la longitud del paquete anterior, de lo que se haya transmitido del paquete anterior cuando el paquete de voz llegue y de la velocidad de transmisión de la interfaz. Claramente, los paquetes más grandes o las velocidades de temporización menores necesitarán más tiempo para la transmisión en serie. Se puede determinar el retraso máximo de la serialización causado por un paquete en medio de la transmisión usando la siguiente fórmula:

$$\text{Retraso_señalización} = \text{Longitud_paquete_transmitida} / \text{Ratio_temporalización_interfaz}$$

La siguiente tabla resume el retraso por serialización que resulta de una variedad de tamaños de paquetes para una variedad de velocidades de transmisión de interfaz. Los valores por encima y a la derecha en la figura ofrecen un retraso por serialización inaceptablemente grande, y los valores por debajo y a la izquierda suponen un costo excesivo de ancho de banda.

Tabla N° 9. Retraso por serialización, resultante de varios tamaños de fragmento y velocidades.
Fuente: Deploying Cisco QoS for Enterprise Networks.

		Tamaño de fragmentación de la trama o paquete (bytes)									
		40	70	80	160	320	480	640	960	1200	1600
Ratio de temporalización efectivo (kbps)	32	10	17,5	20	40	80	120	160	240	300	400
	56	5,7	10	11,4	22,9	45,7	68,6	91,4	137,1	171,4	228,6
	64	5	8,8	10	20	40	60	80	120	150	200
	128	2,5	4,4	5	10	20	30	40	60	75	100
	256	1,3	2,2	2,5	5	10	15	20	30	37,5	50
	384	0,8	1,5	1,7	3,3	6,7	10	13,3	20	25	33,3
	512	0,6	1,1	1,3	2,5	5	7,5	10	15	18,8	25
	768	0,4	0,7	0,8	1,7	3,3	5	6,7	10	12,5	16,7
	960	0,3	0,6	0,7	1,3	2,7	4	5,3	8	10	13,3
	1536	0,2	0,4	0,4	0,8	1,7	2,5	3,3	5	6,3	8,3
	1920	0,2	0,3	0,3	0,7	1,3	2	2,7	4	5	6,7



Retraso aceptable por serialización



Demasiado retraso por serialización (arriba a la derecha) o demasiado coste en fragmentación de tramas (abajo a la izquierda)

Transmisión de la nube WAN y buffering: Una vez que el paquete sobrepasa la interfaz física, está oficialmente en la nube WAN (Wide Area Network/Red de Área Amplia). La nube WAN está formada por numerosos switches de paquetes (cada uno

de los cuales almacena los paquetes), o switches de celda (que crean un retraso más predecible de cable virtual de extremo a extremo) o una combinación de tipos de switch. Con frecuencia la nube WAN es la contribución más significativa de presupuesto de retraso global debido a las distancias a través de las que deben ser transmitidos los paquetes.

Serialización de entrada WAN: Así como el retraso por serialización es un factor para los paquetes entrantes en la nube WAN, es también un factor para los paquetes que abandonan la nube WAN. Este factor de retraso se llama retraso por serialización entrante WAN, y se controla mediante el switch de acceso en la red portadora en el extremo lejano de la conexión.

Búfer de reproducción: Cuando un paquete, trama o celda alcanza el router de destino, las cabeceras se eliminan y las tramas de codec llegan mediante la red de datos en formas de ráfagas, éste debe ser suficientemente grande para asegurar que las tramas codec se pueden reproducir suavemente en el decodificador. En caso contrario, el decodificador no puede generar un flujo continuo de audio, lo que reduce la calidad de la voz de la señal. La cantidad de retraso introducida por este búfer en un tiempo dado depende del número de tramas codec que están en el búfer al mismo tiempo.

Formas de reducir el retardo

Asumiendo que el router tiene suficiente capacidad como para tomar la decisión de reenvío en un tiempo insignificante, se puede decir que la mayoría del retardo de procesamiento, encolamiento y serialización es influenciado por los siguientes factores:

- Longitud promedio de la cola.

- Longitud promedio de los paquetes en la cola.
- Ancho de banda del enlace.

Existen muchas propuestas para acelerar el envío de paquetes de flujos sensibles al retardo:

- **Incrementar la capacidad del enlace:** Ancho de banda suficiente ocasiona que las colas se reduzcan, asegurando que los paquetes no tengan que esperar mucho tiempo antes de ser transmitidos. Adicionalmente, más ancho de banda reduce el tiempo de serialización. Por otro lado, esto puede ser una propuesta irrealista debido al costo asociado a la actualización.
- **Optimizar el circuito:** Trabajar con el proveedor del circuito para optimizar manualmente la ruta de transmisión física de circuitos a través de la nube del proveedor de servicios.
- **Dar prioridad a los paquetes sensibles al retardo:** En todos los routers de la red que puedan experimentar congestión (no sólo routers de voz y datos), utilizar una política de cola que dé prioridad al tráfico de voz sobre otro tráfico (para reducir el retraso de la cola). Para conseguir este objetivo con VoIP, se debe utilizar cola de prioridades, cola de baja latencia (LLQ) o Prioridad IP RTP con weighted-fair queuing (WFQ), o class-based weighted-fair queuing (CB-WFQ).
- **Usar herramientas de Fragmentación e Intercalado de enlace:** Para reducir el retraso por serialización, se debe usar tecnologías LFI (Link Fragmentation and Interleaving/ Fragmentación e Intercalado de enlace) en todos los routers con interfaces de baja velocidad en su red. La utilización de

un tamaño de fragmento de 80 bytes para cada 64 kbps de velocidad de transmisión asegura que el retraso por serialización no excede 10 ms para el fragmento que es el retraso de serialización requerido por VoIP.

Otra herramienta es la compresión de cabecera la cual no consume tanto CPU como la compresión de carga útil y puede ser usada en combinación con otros mecanismos para reducir el retardo. Minimizando el retardo, también se reduce la variación del retardo.

- **Selección del codec:** Seleccionar un codec que introduzca un retraso mínimo. Se debe recordar los otros intercambios asociados con el codec seleccionado, como los requisitos de recursos del procesador de señal digital (DSP), la calidad de la voz, el rendimiento para las codificaciones sucesivas (si se pueden aplicar en la red) y el ancho de banda.
- **Configurar el búfer de reproducción:** Si el tamaño del búfer de reproducción está configurado estáticamente, se puede reducir para minimizar el retraso por reproducción. Sólo se debería considerar esta opción cuando la red tenga una pequeña variación de retraso. Existen routers que ajustan dinámicamente el tamaño del búfer de reproducción basándose en los elementos en curso de retraso y fluctuación de fase.
- **Compresión de carga útil:** La compresión de carga útil reduce el tamaño de los paquetes y, por lo tanto, incrementa el ancho de banda virtualmente. Adicionalmente, los paquetes comprimidos son pequeños y necesitan menos tiempo para ser transmitidos. Por otro lado, la compresión usa algoritmos complejos que toma tiempo y agregan retardo. Esta propuesta es, por lo tanto, no usada para proveer bajo retardo a la propagación de paquetes.

II.14.2.3.3. Variación del Retardo (Jitter)

A veces hay una gran cantidad de tráfico, lo cual resulta en más retardo. El jitter es el delta, o diferencia, en los valores de retardo total punto a punto de dos paquetes de voz en el flujo de voz.

El jitter es definido como la variación del retardo entre la llegada esperada de un paquete y cuando es efectivamente recibido. En el origen, los paquetes son enviados en una cadena continua con paquetes uniformemente separados. Debido a la congestión de la red, colas mal configuradas o errores de configuración, el retardo entre cada paquete puede variar en vez de permanecer constante. Para compensar estas variaciones de retardo entre los paquetes de voz en una conversación, los puntos finales de VoIP usan memorias temporales (buffers) de variación del retardo para convertir las variaciones del retardo en valores constantes para que la conversación se realice suavemente.

II.14.2.3.4. Pérdida de paquetes

Los paquetes pueden ser descartados cuando el enlace está congestionado. La pérdida de paquetes es usualmente causada por la congestión en la red de área ancha (WAN).

La pérdida de paquetes habitual ocurre cuando los routers se quedan sin espacio de buffer (almacenamiento temporal). En la siguiente figura se muestra una cola de salida de interfaz full, lo cual causa que los nuevos paquetes que llegan sean descartados (dropped). El término usado para estos descartes es “descarte de salida (output drop)” o “descarte de cola (tail-drop)”.

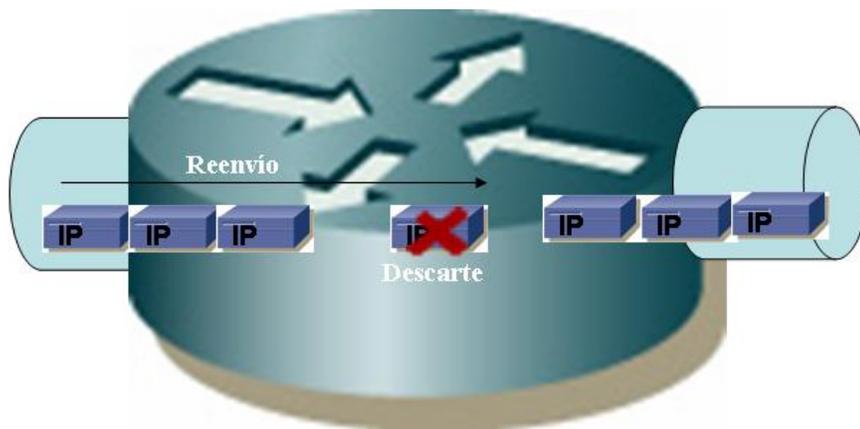


Figura N° 10: Pérdida de paquetes. Fuente: Implementing Cisco Quality of Service. Versión 2.0.

Los routers pueden también descartar paquetes por otras razones (menos comunes) como por ejemplo sobrecarga del procesador principal y errores de paquetes.

El ancho de banda del medio de transmisión frecuentemente limita el ancho de banda total de la voz. La voz humana típicamente requiere un ancho de banda de 100 a 10.000 Hz, aunque el 90% del contenido útil de la voz se encuentra entre 100 y 3000 Hz.

Una red IP puede descartar paquetes de voz si la calidad de la red es pobre, si la red está congestionada o si hay mucha variación del retardo en la red. Los algoritmos de codecs (Codificador/Decodificador) pueden corregir pequeñas cantidades de pérdidas, pero muchas pérdidas pueden causar recortes y saltos en la conversación. La principal causa de pérdida de paquetes es la congestión de la red.

Un codec es un dispositivo que se utiliza para transformar la voz analógica en digital y viceversa, mediante el empleo de diversas técnicas de modulación.

Los protocolos en tiempo real tienen requisitos mucho más estrictos para la fiabilidad que los protocolos de datos normales (como, por ejemplo, el Protocolo de

transferencia de hipertexto (HTTP, Hypertext transfer protocol), Protocolo de transferencia de archivos (FTP, File transfer protocol), Protocolo simple de transferencia de correo (SMTP, Simple Mail transfer Protocol), Telnet, etc.), ya que la retransmisión no es una opción. Cualquier información que este perdida y retransmitida llega demasiado tarde y fuera de contexto para ser útil al extremo receptor. Las aplicaciones de telefonía son especialmente sensibles a esta condición. Si durante una conversación telefónica no se oye la primera parte de una palabra, no habrá ningún beneficio oír este fragmento de palabra insertado en un punto posterior de la conversación.

Debido a que las aplicaciones de red en tiempo real no pueden usar paquetes que lleguen tarde, las implementaciones lógicas ahorran ancho de banda y carga de proceso no retransmitiendo paquetes perdidos.

Para las redes IP, el servicio fiable TCP (Protocolo de Control de Transmisión) no es apropiado para aplicaciones en tiempo real, ya que TCP utiliza la retransmisión para asegurar la fiabilidad. Esta es una de las razones por las que el protocolo de transferencia en tiempo real (RTP, Real-Time Transfer Protocol), que es el protocolo de transmisión de audio estándar para todas las implementaciones populares de VoIP se basa en el Protocolo de datagrama de usuario (UDP) en lugar de TCP.

TCP es un protocolo de capa de transporte orientado a conexión que provee una transmisión confiable de datos de dúplex completo. UDP es un protocolo no orientado a conexión de la capa de transporte de la pila de protocolo TCP/IP. UDP es un protocolo simple que intercambia datagramas sin confirmación o garantía de entrega y que requiere que el procesamiento de errores y las retransmisiones sean manejados por otros protocolos.

La pérdida de paquetes es usualmente el resultado de la congestión en una interfaz. La mayoría de las aplicaciones que usan TCP experimentan la lentitud porque TCP se ajusta a los recursos de red. (Segmentos TCP descartados causan que las sesiones TCP reduzcan sus tamaños de ventana). Existen algunas aplicaciones que no usan TCP y no pueden manejar los descartes (flujos frágiles).

Formas de evitar la pérdida de paquetes

Las siguientes propuestas pueden ser usadas para prevenir descartes de aplicaciones sensibles:

- Incrementar la capacidad del enlace para aliviar o evitar la congestión.
- Garantizar suficiente ancho de banda e incrementar el espacio en buffer para acomodar las ráfagas de aplicaciones frágiles.
- Evitar la congestión descartando paquetes antes de que ocurra la congestión. Existen herramientas que permiten iniciar el descarte selectivo de paquetes.
- Existen otros mecanismos que pueden ser usados para evitar la congestión tales como Traffic Shaping el cual retarda los paquetes en lugar de descartarlos y Traffic Policing el cual puede limitar el promedio de transferencia de paquetes menos importantes para proveer mejor servicio a los paquetes sensibles a los descartes.

II.14.2.4. Calidad de Servicio para Redes Convergentes

Existen tres pasos básicos que envuelven la implementación de QoS en una red:

- 1.- Identificar el tráfico y sus requerimientos. Estudiar la red para determinar el tipo de tráfico que viaja a través de esta y luego determinar los requerimientos de QoS para los diferentes tipos de tráfico.
- 2.- Agrupar los tráficos en clases con requerimientos de QoS similares.
- 3.- Definir políticas que cumplirán los requerimientos de QoS para cada clase de tráfico.

II.14.3. Requerimientos de Calidad de Servicio

El primer paso para implementar QoS es identificar el tráfico en la red y determinar los requerimientos de tráfico.

Determinar los problemas de calidad de servicio de los usuarios. Se debe medir el tráfico en la red durante los periodos de congestión. Se debe realizar una valoración de utilización de CPU en cada uno de los dispositivos de red durante los periodos de mayor tráfico para determinar donde los problemas pueden estar ocurriendo.

Determinar el modelo de negocios, objetivos de la empresa y obtener una lista de requerimientos de negocio. Esto ayudará a definir el número de clases y determinar los requerimientos de negocio para cada clase de tráfico.

Definir los niveles de servicio requeridos por diferentes clases de tráfico en términos de tiempos de respuesta y disponibilidad.

II.14.3.1. Requerimientos de Calidad de Servicio para la Voz

El tráfico de voz tiene requerimientos estrictos de QoS. El tráfico de voz generalmente genera una baja demanda de ancho de banda y tiene impacto mínimo sobre otros tráficos mientras es administrado.

Mientras los paquetes de voz son típicamente pequeños (60 a 120 bytes), estos no pueden tolerar retardos (delay) y descartes (drops). El resultado del retardo y los descartes es una calidad de voz pobre y con frecuencia inaceptable. Debido a que los descartes no pueden ser tolerados, UDP es usado para empaquetar los paquetes de voz porque las capacidades de retransmisión de TCP no tienen valor en este caso.

Los paquetes de voz no pueden tolerar más de 150 ms de retardo (requerimiento en un sentido) y 1 % de pérdida de paquetes.

Una llamada típica de voz requerirá de 17 a 106 kbps por segundo (kbps) de ancho de banda con prioridad garantizada más 150 bits por segundo (bps) por llamada para el tráfico de control de la voz. Multiplicando estos requerimientos de ancho de banda por el número de llamadas esperadas durante el periodo de tiempo más ocupado del día proveerá una indicación del ancho de banda global requerido por el tráfico de voz.

II.14.3.2. Requerimientos de Calidad de Servicio para la data

Los requerimientos de calidad de servicio para los datos varían enormemente. Diferentes aplicaciones pueden hacer diferentes demandas a la red. Incluso diferentes versiones de la misma aplicación pueden tener diferentes características de tráfico de red.

Mientras el tráfico de datos puede demostrar tener características suaves o agresivas dependiendo de la aplicación, el tráfico de datos difiere del de voz en términos de retardo y sensibilidad a los descartes. Casi todas las aplicaciones de datos pueden tolerar cierto grado de retardo y generalmente pueden tolerar altos porcentajes de descartes.

Debido a que el tráfico de datos puede tolerar los descartes, las capacidades de retransmisión de TCP se hacen importantes y, como resultado, muchas aplicaciones de datos usan TCP.

En una red corporativa, las aplicaciones importantes (críticas para el negocio) son usualmente fáciles de identificar. La mayoría de las aplicaciones pueden ser identificadas basadas en los números de puertos TCP o UDP. Algunas aplicaciones usan puertos dinámicos que hacen la clasificación más difícil. Se recomienda que el tráfico de datos sea clasificado en no más de cuatro a cinco clases. Por ejemplo:

- Aplicaciones de Misión Crítica: Aplicaciones críticas definidas localmente.
- Transaccional: Tráfico interactivo, servicios de datos preferidos.
- Mejor esfuerzo (Best-Effort): Internet, e-mail, tráfico no especificado.
- Menos que mejor esfuerzo: Aplicaciones punto a punto como Kazaa y Limewire las cuales son utilizadas para el intercambio de archivos a través de Internet como archivos de audio mp3, videos y aplicaciones.

Adicionalmente se debe crear una clase para el tráfico de voz.

II.14.4. Clases de tráfico de Calidad de Servicio

Debido a sus estrictos requerimientos de QoS, el tráfico de voz casi siempre existirá en una clase por si mismo. Existen mecanismos (por ejemplo: Colas de Baja Latencia: LLQ) que aseguran que la voz siempre reciba tratamiento prioritario sobre otros tráficos.

Después de que las aplicaciones con los requerimientos más críticos han sido definidas y medidas, las clases de tráfico restantes son definidas usando los requerimientos de negocio.

II.14.5. Políticas de Calidad de Servicio

Una política de QoS es una definición completa de red de los niveles específicos de QoS asignados a diferentes clases de tráficos de red.

La definición de una política de QoS para cada clase de tráfico envuelve:

- Establecer un ancho de banda mínimo garantizado.
- Establecer un límite de ancho de banda máximo.
- Asignar prioridades a cada clase.
- Usar tecnologías de QoS, tales como encolamiento avanzado para manejar la congestión.

Tener una política de QoS es tan importante en una red convergida como una política de seguridad.

II.14.6. Mecanismos de Calidad de Servicio

Los mecanismos de IP QoS son usados para implementar políticas de QoS coordinadas en dispositivos a lo largo de la red. En el momento en que un paquete IP entra en la red, este es clasificado y usualmente marcado con su identificación de clase. Desde ese punto, el paquete es tratado por una variedad de mecanismos de IP QoS de acuerdo a la clasificación del paquete. Dependiendo del mecanismo encontrado, el paquete puede ser enviado, retardado, comprimido, fragmentado o incluso descartado.

A continuación se describen los mecanismos de QoS:

II.14.6.1. Clasificación de paquetes

Consiste en identificar y separar el tráfico en diferentes clases. En una red habilitada con QoS, todo el tráfico es clasificado en la interfaz de entrada de cada dispositivo habilitado para QoS. La clasificación de paquetes puede ser reconocida basada en muchos factores incluyendo:

1. DSCP (Differentiated Services Code Point): El modelo DiffServ define el Campo DiffServ (DS) de 1 Byte, el cual reemplaza el campo ToS (Tipo de Servicio/ Type of Service) en IPv4 (Internet Protocol Versión 4) para tomar decisiones de comportamientos por salto (PHB: Per-Hop Behaviors) acerca de clasificación de paquetes y funciones de condicionamiento de tráfico tales como marcado y políticas. Los seis bits más significativos del campo DiffServ son llamados DSCP. Los últimos dos bits no son usados. DSCP se usa para marcar paquetes y seleccionar su comportamiento en la red (reenvío y métodos de encolamiento). Los valores establecidos en el campo DSCP son usados por los dispositivos de

comunicaciones tales como routers para dar un tratamiento particular a los paquetes. Los diferentes comportamientos por salto que son usados en DSCP y definidos por estándares IETF son:

- PHB por Defecto (Default PHB): Usado para servicios de mejor esfuerzo (Best-Effort): bits 5 a 7 de DSCP= 000
- PHB Envío Acelerado (EF: Expedited Forwarding PHB): Usado para servicios de bajo retardo: bits 5 a 7 de DSCP = 101
- PHB Envío Asegurado (AF: Assured Forwarding PHB): usado por servicios con ancho de banda garantizado: bits 5 a 7 de DSCP = 001, 010, 011 o 100.
- Selector de Clase PHB (Class Selector PHB): Usado por compatibilidad hacia atrás con dispositivos no compatibles con servicios diferenciados (DiffServ).

Dependiendo del valor marcado en el campo DSCP del paquete IP este será tratado de forma particular en los equipos de comunicaciones (Routers, Switches, etc.) en cuanto a prioridad, probabilidad de descartes, etc. Los valores para la clasificación por medio de DSCP son los siguientes:

Tabla N° 10: Valores de DSCP. Fuente: Implementing Cisco Quality of Service. Versión 2.0.

PHB	DSCP	Valor DSCP	Protocolos y Aplicaciones Esperadas	Clase de Servicio
EF	EF	101110	Voz Interactiva	Voice Bearer
A F1	AF11 AF12 AF13	001010 001100 001110	Intranet, Servicios de Data Generales	Bulk Data
AF2	AF21 AF22 AF23	010010 010100 010110	Acceso a base de datos, servicios de transacciones, tráfico interactivo, servicios de datos preferidos.	Transactional
AF3	AF31 AF32 AF33	011010 011100 011110	Aplicaciones de misión crítica definidas localmente.	Mission-Critical
AF4	AF41 AF42 AF43	100010 100100 100110	Video interactivo y voz asociada.	Interactive Video
CS6	Class 6	110000	BGP, OSPF, etc.	Routing (Reserved)
CS4	Class 4	100000	Propietario a menudo.	Streaming Video
CS3	Class 3	011000	SIP, H.323, etc.	Voice Signaling
CS1	Class 1	001000	Servicios seleccionados por el usuario, aplicaciones punto a punto.	Less-than-Best Effort Data (Scavenger)
Default	Default (Mejor Esfuerzo) Class 0	000000	Tráfico no especificado, e-mail.	Best-Effort

2. Precedencia IP (IP Precedence): Es un valor de 3 bits en el byte ToS [Type of Service] usado para asignar precedencia a los paquetes IP. Estos 3 bits son los bits más significativos del campo de 8 bits Class of Services (CoS) en la cabecera de un paquete IP. A continuación los valores disponibles para marcar paquetes con IP Precedence y su descripción:

Tabla N° 11: Valores de Precedencia IP. Fuente: Voice Over IP Fundamentals.

Valor Binario	Valor de Precedencia	Descripción
111	7	Network Control
110	6	Internetwork Control
101	5	Critical
100	4	Flash Override
011	3	Flash
010	2	Inmediate
001	1	Priority
000	0	Routine

Adicionalmente cuando los próximos 4 bits son marcados significan lo siguiente:

- Bit 4: Ordena a la red minimizar el retardo.
 - Bit 5: Ordena a la red maximizar el rendimiento (procesamiento)
 - Bit 6: Ordena a la red minimizar la confiabilidad
 - Bit 7: Ordena a la red minimizar los costos.
 - Bit 8: Reservado para uso futuro.
3. Dirección origen
 4. Dirección destino

II.14.6.2. Marcado de paquetes

Consiste en marcar cada paquete como un miembro de una clase de red para que los dispositivos a lo largo del resto de la red puedan fácilmente reconocer la clase del paquete. La marca se hace tan cerca del borde de la red como sea posible.

Los mecanismos de QoS establecen bits en los campos DSCP o precedencia IP en cada paquete IP de acuerdo a la clase en el que se encuentra el paquete.

Otros mecanismos de QoS usan estos bits para determinar como tratar los paquetes cuando llegan. Si están marcados como paquetes de voz de alta prioridad, los paquetes generalmente nunca serán descartados por los mecanismos de prevención de la congestión y se les da preferencia inmediata por los mecanismos de encolamiento de administración de la congestión. Por otro lado, si el paquete es marcado como paquetes de transferencia de archivos de baja prioridad, estos serán descartados cuando ocurra una congestión y generalmente se mueven al final de la cola de administración de la congestión.

II.14.6.3. Administración de la congestión (Congestion Management)

Los mecanismos de administración de la congestión (algoritmos de encolamiento) usan las marcas en cada paquete para determinar en cual cola colocar los paquetes. A las diferentes colas se les da un tratamiento diferente por los algoritmos de encolamiento basados en la clase de los paquetes en la cola. Generalmente, los paquetes en colas con mayor prioridad reciben tratamiento preferencial.

Todas las interfaces de salida en una red habilitada con QoS usan algún tipo de mecanismo de administración de la congestión (encolamiento) para manejar los flujos de tráfico saliente. Cada algoritmo de encolamiento fue diseñado para resolver un

problema de tráfico de red específico y tiene un efecto particular en el rendimiento de la red.

Algunos de los métodos de administración de la congestión incluyen:

- FIFO (First In/First Out): Esquema de búfer donde el primer byte de data que entra en el búfer es el primer byte recuperado por el CPU.
- Colas de Prioridad (PQ): Es un método de encolamiento que asegura que el tráfico importante obtiene el manejo más rápido en cada punto donde es usado. Fue diseñado para dar prioridad estricta al tráfico importante.
- Colas personalizadas (CQ): Colas definidas por el usuario.
- Weighted fair queuing (WFQ): Es un algoritmo de administración de la congestión que identifica conversaciones (en forma de flujos de tráfico), separa el tráfico que pertenece a cada conversación, y asegura que la capacidad es compartida de forma justa entre estas conversaciones individuales. WFQ es una forma automática de estabilizar el comportamiento de la red durante una congestión y resulta en incrementar el rendimiento y reducir la retransmisión.
- Class-based Weighted fair queuing (CBWFQ): Es un mecanismo de administración de la congestión que extiende la funcionalidad estándar de WFQ para proveer soporte para las clases de tráfico definidas por el usuario.
- LLQ (Low Latency Queuing): Permite el uso de una sola cola de prioridad en conjunto con CBWFQ. Típicamente, la cola de prioridad solo lleva tráfico VoIP. El resto del tráfico es transportado por colas definidas por el usuario de CBWFQ.

II.14.6.4. Prevención de la congestión (Congestion Avoidance)

Los mecanismos de prevención de la congestión monitorean la carga de tráfico en un esfuerzo por anticipar y evitar la congestión en redes comunes con cuellos de botella. La prevención de la congestión se logra a través del descarte de paquetes (packet dropping).

Los mecanismos de prevención de la congestión son empleados en interfaces de salida donde un enlace de alta velocidad o conjunto de enlaces fluyen hacia un enlace de baja velocidad (por ejemplo, una LAN entrando a un enlace WAN lento). Esto asegura que la WAN no es congestionada instantáneamente por el tráfico de la LAN.

Este mecanismo puede descartar paquetes aleatoriamente de colas seleccionadas cuando un límite definido anteriormente es alcanzado. Descartando paquetes por adelantado, se ayuda a prevenir los cuellos de botella en la red.

Las técnicas de prevención de la congestión incluyen:

- Random Early Detection (RED): Es un mecanismo que descarta aleatoriamente los paquetes antes de que la cola se llene. La estrategia de descartes es basada primariamente en la longitud promedio de la cola, esto es, cuando el tamaño promedio de la cola se incrementa, es más probable de que RED descarte un paquete entrante que cuando la longitud promedio de la cola sea más pequeño. Debido a que RED descarta paquetes aleatoriamente, no posee inteligencia por flujo. La razón fundamental es que un flujo agresivo representa la mayoría del tráfico que entra y por lo tanto es más probable que RED descarte un paquete de una sesión agresiva. Por lo tanto RED castiga las sesiones más agresivas con una probabilidad estadísticamente mayor y es, por lo tanto, capaz de bajar la causa más significativa de la congestión.

- **Weighted RED (WRED):** WRED combina RED con Precedencia IP o DSCP y realiza el descarte de paquetes basado en las marcas de precedencia IP o DSCP. WRED no es recomendado para colas de voz. Una red debe ser diseñada para no descartar paquetes de voz.
- **Class-Based WRED (CB-WRED):** Consiste en la aplicación de WRED dentro del sistema de colas en cada clase en conjunto con CBWFQ). Cada clase mantiene una cola separada, y tiene un límite de cola, realizando descarte de paquetes por defecto cuyo comportamiento es configurable.

Estas técnicas incrementan la probabilidad de que la congestión sea evitada descartando paquetes de baja prioridad en vez de paquetes de alta prioridad.

RED y WRED no son recomendadas para colas de voz.

Para implementar los mecanismos de prevención de la congestión se deben usar perfiles los cuales son usados para determinar la estrategia de descarte de paquetes y es basado en una longitud promedio de la cola. La probabilidad de que un paquete sea descartado es basada en tres parámetros configurables contenidos dentro del perfil RED:

- **Umbral mínimo (Minimum threshold):** Cuando el promedio de la longitud de la cola es superior al umbral mínimo, RED comienza a descartar paquetes. La frecuencia de descarte de paquetes se incrementa linealmente a medida que el tamaño promedio de la cola se incrementa, hasta que el promedio alcanza el umbral máximo.

- **Umbral Máximo (Maximum threshold):** Cuando el tamaño promedio de la cola supera el umbral máximo, todos los paquetes son descartados. El valor por defecto es 40.
- **Denominador de Probabilidad de Marcado (Mark Probability Denominator):** Esta es la fracción de paquetes que son descartados cuando la profundidad promedio de la cola está en el umbral máximo. Por ejemplo, si el denominador es 512, uno de cada 512 paquetes es descartado cuando el promedio de la cola está en el umbral máximo. El valor por defecto es 10.

La diferencia entre los perfiles radica en que los que tienen un umbral mínimo más bajo comenzarán a ser descartados más temprano y de forma más agresiva que los que tienen un valor alto.

Para evitar la necesidad de configurar todos los parámetros en un router, 8 valores se encuentran configurados por defecto para WRED basado en precedencia IP, y 64 valores por defecto son definidos para WRED basado en DSCP. La siguiente tabla muestra los perfiles para precedencia IP y selector de clase:

Tabla N° 12: Perfiles de precedencia IP y selector de clase. Fuente: Implementing Cisco Quality of Service.

Precedencia IP	DSCP (Selector de Clase)	Umbral Mínimo por Defecto
0 (000)	Default (0)	20
1 (001)	cs1 (8) (001000)	22
2 (010)	cs2 (16) (010000)	24
3 (011)	cs3 (24) (011000)	26
4 (100)	cs4 (32) (100000)	28
5 (101)	cs5 (40) (101000)	30
6 (110)	cs6 (48) (110000)	32
7 (111)	cs7 (56) (111000)	34
RSVP	RSVP	37

En DSCP, el PHB envío acelerado (Expedited Forwarding: EF) es identificado basado en los siguientes parámetros:

- Asegurar una frecuencia de partida mínima para proveer el menor retardo a las aplicaciones sensitivas al retardo.
- Garantizar ancho de banda para evitar su carencia por parte de las aplicaciones si hay múltiples aplicaciones usando EF PHB.
- Supervisar el ancho de banda para evitar el consumo por otras aplicaciones o clases que no están usando este PHB.
- Los paquetes que requieren EF deben ser marcados con el valor binario DSCP 101110 (46 o 0x2E).

El valor por defecto para el umbral mínimo de EF es muy alto, incrementando la probabilidad de que no se descarten paquetes en esta clase de tráfico:

Tabla N° 13: Perfil de PHB Envío Acelerado (EF). Fuente: Implementing Cisco Quality of Service.

DSCP (Seis Bits)	Umbral Mínimo por Defecto
EF (101110)	36

Por otro lado PHB Envío Asegurado (AF: Assured Forwarding PHB) es identificado basado en los siguientes parámetros:

- Garantizar una cierta cantidad de ancho de banda a una clase AF.
- Permite el acceso a ancho de banda extra, si hay disponibilidad.
- Los paquetes que requieren AF PHB deben ser marcados con el valor DSCP “aaadd0” donde “aaa” es el número de la clase y “dd” es la probabilidad de descarte o preferencia de descarte de la clase de tráfico.

Por cada clase de tráfico AF existen tres perfiles diferentes, dependiendo de la preferencia de descartes. De esta forma el tráfico AF debe ser clasificado dentro de tres posibles clases basado en la sensibilidad de las aplicaciones o aplicaciones representadas por la clase a descarte de paquetes:

Tabla N° 14: Perfil de PHB Envío Asegurado (AF). Fuente: Implementing Cisco Quality of Service.

Clases de Envío Asegurado	Probabilidad de Descarte	(Clase AF) DSCP	Umbral mínimo por Defecto
AF Clase 1	Probabilidad de descarte Baja	(AF11) 001010	32
	Probabilidad de descarte Media	(AF12) 001100	28
	Probabilidad de descarte alta	(AF13) 001110	24
AF Clase 2	Probabilidad de descarte Baja	(AF21) 010010	32
	Probabilidad de descarte Media	(AF22) 010100	28
	Probabilidad de descarte alta	(AF23) 010110	24
AF Clase 3	Probabilidad de descarte Baja	(AF31) 011010	32
	Probabilidad de descarte Media	(AF32) 011100	28
	Probabilidad de descarte alta	(AF33) 011110	24
AF Clase 4	Probabilidad de descarte Baja	(AF41) 100010	32
	Probabilidad de descarte Media	(AF42) 100100	28
	Probabilidad de descarte alta	(AF43) 100110	24

II.14.6.5. Política y modelado de tráfico (Policing and Traffic Shaping)

Los mecanismos de Política y modelado de tráfico son usados frecuentemente para condicionar el tráfico antes de transmitirlo o recibirlo de la red.

Política es la habilidad de controlar las ráfagas y ajustar el tráfico para asegurar que ciertos tipos de tráfico obtienen cierta cantidad de ancho de banda. La política descarta o marca los paquetes cuando los límites predefinidos son alcanzados.

Los mecanismos de política pueden ser establecidos para primero descartar paquetes de clases que tienen marcas de baja prioridad. Puede ser usado en las interfaces de entrada o de salida.

Las herramientas incluyen Class-based policing y committed access rate (CAR).

El modelado de tráfico ayuda a suavizar las diferencias de velocidad en la red y limitar la frecuencia de transmisión.

Los mecanismos de modelado de tráfico son usados en las interfaces de salida. Estos son típicamente usados para limitar el flujo desde un enlace de alta velocidad a uno de baja velocidad para asegurar que el enlace de baja velocidad no llegue a ser excedido con tráfico. El modelado también puede ser usado para manejar el flujo de tráfico en un punto en la red donde múltiples flujos se agregan.

Algunas de las herramientas de modelado existentes incluyen:

- Generic Traffic Shaping (GTS).
- Frame Relay Traffic Shaping (FRTS).

II.14.6.6. Compresión

Existen mecanismos de eficiencia de enlace que trabajan en conjunción con otras herramientas para manejar el ancho de banda existente más eficientemente y predecible. Una de estas herramientas es Real-Time Transport Protocol comprimido (cRTP).

Real-Time Transport Protocol (RTP) es un protocolo host-a-host que es usado para transportar tráfico convergido (incluyendo audio y video) sobre una red IP. RTP provee funciones de transporte de red punto a punto pensado para aplicaciones que transmiten requerimientos en tiempo real tales como audio o video.

Un paquete de voz transportando una carga útil de 20 bytes, por ejemplo, típicamente lleva un encabezado IP de 20 bytes, un encabezado UDP de 8 bytes, y un encabezado

RTP de 12 bytes. Usando cRTP, los tres encabezados de 40 bytes combinados son comprimidos para obtener de 2 a 4 bytes, dependiendo de si el CRC es transmitido o no. Esta compresión puede mejorar drásticamente el rendimiento del enlace.

La compresión se usa típicamente en enlaces WAN entre localidades para mejorar la eficiencia del ancho de banda.

II.14.6.7. Fragmentación e intercalado de enlace (Link Fragmentation and Interleaving/LFI)

El tráfico interactivo, tales como Telnet y VoIP, es susceptible de incrementar la latencia y el jitter cuando la red procesa grandes paquetes, tales como transferencia FTP de LAN a LAN, atravesando un enlace WAN.

LFI puede reducir el retardo y el jitter en enlaces de baja velocidad dividiendo los grandes paquetes e intercalando los paquetes del tráfico de bajo retardo con los pequeños paquetes resultantes.

LFI es típicamente usado en enlaces WAN entre sitios para asegurar un retardo mínimo para la voz.

CAPÍTULO III

SITUACIÓN ACTUAL

En la actualidad el SENIAT cuenta con más de 8.000 trabajadores y mantiene una red de datos a nivel nacional la cual interconecta 97 localidades por medio de la infraestructura de diversos proveedores de servicios (ISP's: Internet Service Provider). Esta red de datos se encuentra completamente separada de la red de voz la cual está compuesta de sistemas PBX's de diversos proveedores aislados sin ninguna interconexión directa entre ellas y sin capacidad de conexión a la red de datos. En las localidades donde no existen PBXs se utilizan líneas directas de la PSTN y costosas líneas vía radio. Esta infraestructura de voz utiliza la PSTN para cursar llamadas locales y de larga distancia nacional lo cual conlleva a generar altos costos mensuales con promedios entre 40 y 50 millones de Bolívares.

Las líneas directas de la PSTN existentes en algunas localidades tienen cargos básicos que sobrepasan los 840.000 bolívares lo que implica altas sumas mensuales solo por la renta básica y en algunos casos se presenta mala calidad de la voz durante las conversaciones.

Durante el análisis de la situación actual a nivel de comunicación telefónica se pudieron identificar 4 tipos de localidades dependiendo de la forma o dispositivos utilizados para cursar comunicaciones de voz:

:

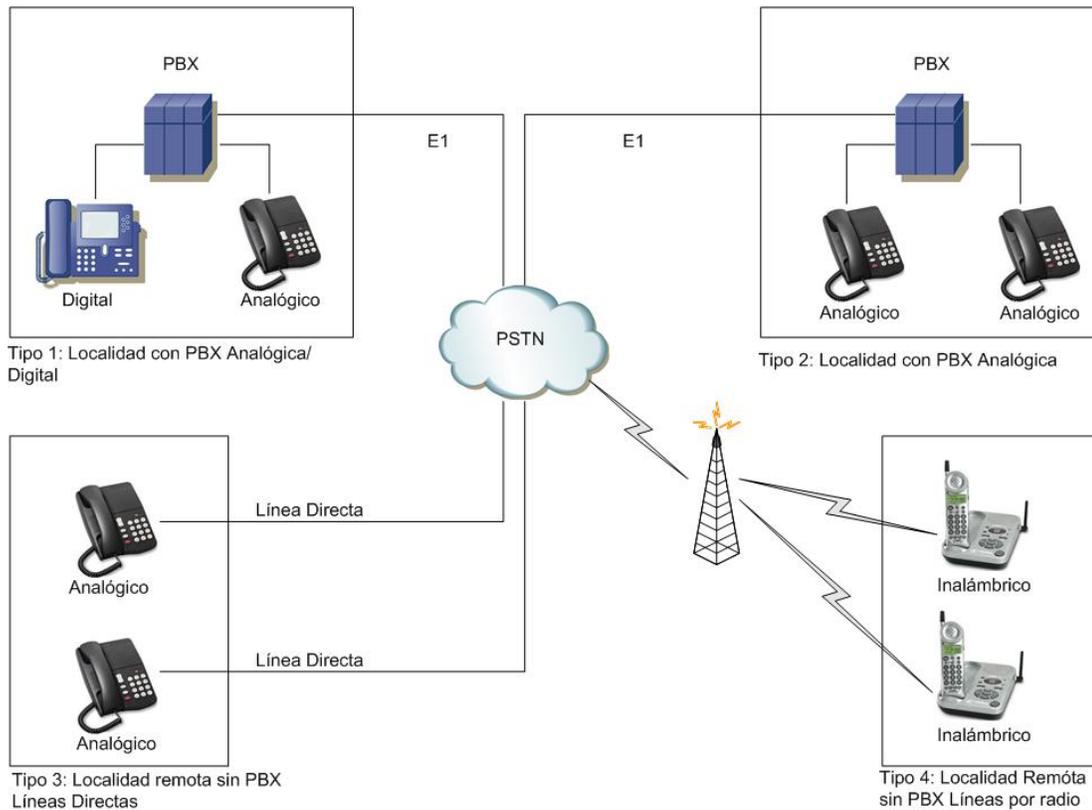


Figura N° 11: Diagrama actual de la infraestructura de voz del SENIAT. Fuente: El Autor.

La cantidad de localidades por tipo de escenario es el siguiente:

Tabla N° 15: Cantidad de PBXs. Fuente: El Autor.

Tipo de Localidad	Cantidad
Tipo 1: Son localidades con PBX Analógica/Digital	29
Tipo 2: Son localidades con PBX Analógica	7
Tipo 3: Son Localidades sin PBX y líneas Directas	58
Tipo 4: Son localidad sin PBX con Líneas por Radio	3
TOTAL	97

A nivel de hardware el SENIAT cuenta con los siguientes modelos de PBX para proporcionar servicios de voz:

Tabla N° 16: Marca y Modelo de las PBX instaladas en el SENIAT. Fuente: El Autor.

Marca	Modelo	Tipo	Soporte VoIP
Siemens	Hipath 4500	Analógica/Digital	Si
Siemens	Hipath 4300	Analógica/Digital	Si
Siemens	Hipath 3750	Analógica/Digital	Si
Avaya	Definity	Analógica/Digital	Si
Avaya	Partner	Analógica/Digital	No
Panasonic	N/A	Analógica	No

Las centrales Siemens con capacidad para transportar VoIP se encuentran instaladas en las regiones principales del SENIAT.

Por otro lado la red de datos del SENIAT, siendo una red IP de mejor esfuerzo, no se encuentra en condiciones de transportar tráfico de tiempo real sensible al retardo como el tráfico de voz debido a que no se tiene ningún mecanismo de calidad de servicio establecido que garantice la entrega oportuna de los paquetes de voz. La red del SENIAT es de red tipo estrella en la que se utilizan Enlaces Digitales Privados (Digital Private Line: DPL) y Frame Relay de diferentes velocidades desde 64kbps a 2048kbps. El diagrama de la red se muestra a continuación:

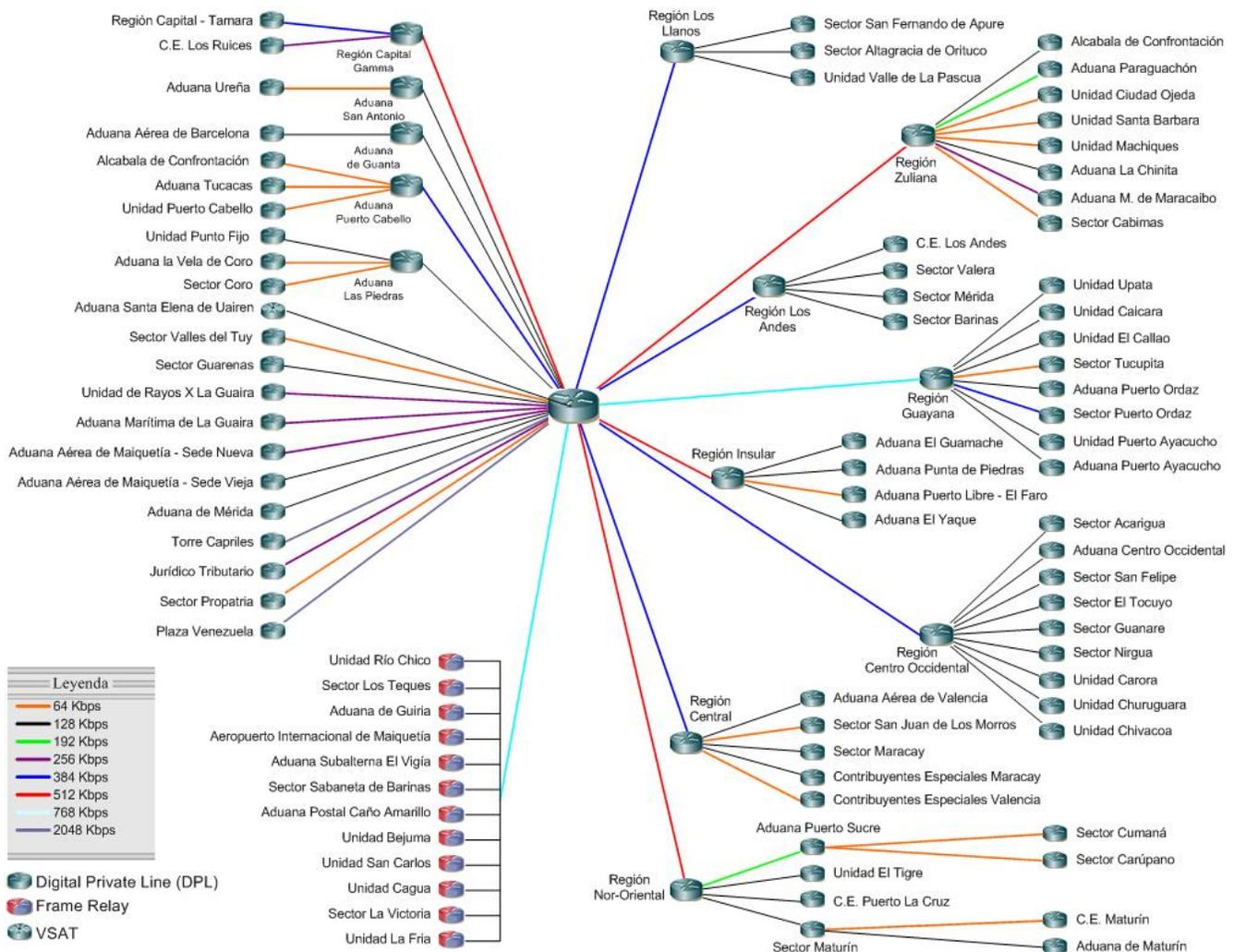


Figura N° 12: Diagrama de la red de datos del SENIAT. Fuente: El Autor.

El diagrama anterior muestra las localidades interconectadas que conforman la red de área amplia del SENIAT. Los diferentes tipos de enlaces utilizados son:

- DPL (Digital Private Line): Enlaces digitales dedicados punto a punto que permiten la transmisión de datos, voz y video a alta velocidad y confiabilidad
- Frame Relay: Es un protocolo conmutado de la capa de enlace de datos que administra varios circuitos virtuales utilizando un encapsulamiento HDLC

(Control de Enlace de Datos de alto nivel/High-Level Data Link Control) entre dispositivos conectados. Frame Relay también es un servicio de transporte de datos y voz que permite la conmutación de tramas garantizando el uso dinámico del ancho de banda.

- VSAT (Very Small Aperture Terminal): Son redes privadas de comunicación de datos vía satélite para intercambio de información punto a punto, punto a multipunto o interactiva.

La plataforma actual que permite la conectividad de las diversas localidades del SENIAT cuenta con diferentes equipos de comunicaciones entre los cuales tenemos routers marca Cisco y switches de diversos fabricantes entre los cuales tenemos Cisco, 3Com y Avaya.

A continuación se muestran dos tablas con los modelos de routers y switches en la red del SENIAT con algunas de las características soportadas más importantes:

Tabla N 17: Routers en la red. Fuente: El Autor.

Marca	Modelo	QoS	VoIP	Gatekeeper	Gateway
Cisco	7200VXR	Si	Si	Si	Si
Cisco	3745	Si	Si	Si	Si
Cisco	3725	Si	Si	Si	Si
Cisco	1760	Si	Si	No	Si

Tabla N 18: Switches en la red. Fuente: El Autor.

Marca	Modelo	QoS
Cisco	4507R	Si
Cisco	3750	Si
Cisco	3550	Si
Cisco	2950	Si
Avaya	P333R	Si
Avaya	P134G2	Si
Avaya	P133G2	Si
3Com	3300	No
3Com	1000	No

III.1. Requerimientos de la Plataforma Actual

De acuerdo a la información obtenida de los diferentes dispositivos de red se identificaron las siguientes necesidades y requerimientos para la implementación de VoIP en el SENIAT:

- Realizar el análisis de la red mediante la captura de datos para determinar los tipos de protocolos y aplicaciones utilizados en la red.
- Implementar las políticas de calidad de servicio que permitan garantizar la entrega oportuna de los paquetes de voz así como garantizar el óptimo funcionamiento de las aplicaciones críticas.
- Definir los requerimientos de software de los equipos de comunicaciones y realizar las actualizaciones en caso de ser necesario.
- Determinar la cantidad de ancho de banda que consumirá cada llamada de voz en la red.

- Determinar el ancho de banda necesario por cada troncal IP en el caso de las centrales que utilizarán la red de datos para comunicarse y establecer llamadas telefónicas.
- Realizar la configuración necesaria en los equipos de comunicaciones para alcanzar los objetivos propuestos.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO

Una vez realizado el análisis y definido los requerimientos de la plataforma actual del SENIAT para la implementación de la tecnología de VoIP, se consideraron los siguientes aspectos como base para alcanzar los objetivos propuestos:

IV.1.- Ingeniería de Tráfico

La ingeniería de tráfico, tal como se aplica en las redes de voz tradicionales, consiste en determinar el número de troncales necesarios para transportar un número requerido de llamadas de voz durante un periodo específico de tiempo. El objetivo de este análisis es dimensionar adecuadamente el número de troncales para la red del SENIAT y proveer la cantidad de ancho de banda apropiada para transportar la data equivalente al número de troncales determinado.

Para determinar el número de troncales fue necesario analizar las estadísticas del tráfico de voz. La fuente utilizada fue la información contenida en el sistema de factura digital de CANTV llamado Herramienta de Análisis de la Factura (HAF) y el cual es proporcionado al SENIAT mensualmente donde se especifica detalladamente los costos por servicios telefónicos. A continuación se muestra una de las pantallas del sistema:

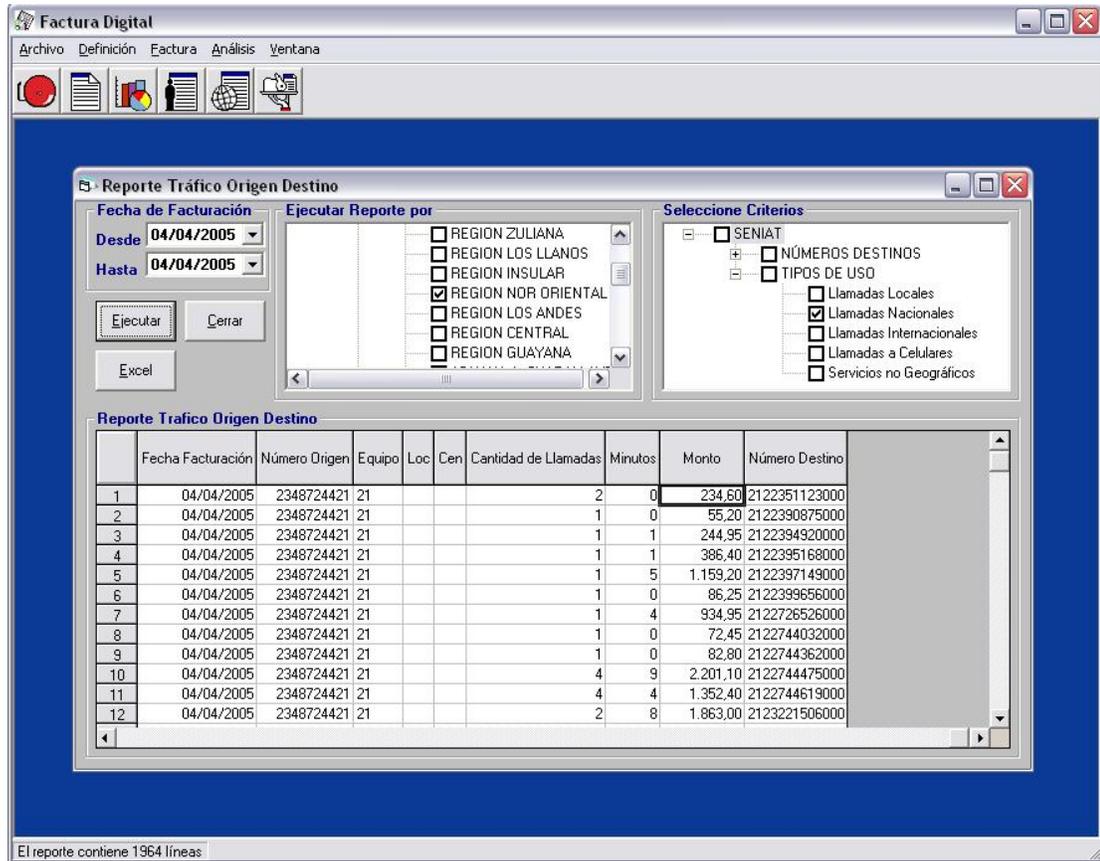


Figura N° 13: Herramienta de Análisis de la Factura (HAF). Fuente: El Autor.

Un valor importante que se debe conocer para obtener el número de troncales es la hora pico la cual es la hora del día en el cual el tráfico es máximo. Para calcular la hora más ocupada del día (Busy Hour) se utilizó un método recomendado por Cisco Systems en la Guía de Estudio Cisco Voice over IP CVOICE v4.2 en el cual se analizó como muestra el tráfico telefónico cursado durante el mes de Abril de 2005, luego se calculó la cantidad de tráfico que ocurrió en un día basado en 22 días laborales en un mes y luego se multiplica el resultado por 15 a 17 %. Según este método, el tráfico de la hora más ocupada representa 15 a 17 % del tráfico que ocurre en un día. La cantidad de minutos en la hora más ocupada es la base para obtener otros resultados como la cantidad de erlangs y el número de troncales de cada

localidad. Para los efectos de realizar los cálculos en el SENIAT se utilizó el 17% ya que esto permitiría una mayor holgura en la cantidad de troncales resultantes. El cálculo por localidad es el siguiente:

Tabla N° 19: Información de troncales por localidad para llamadas salientes de Larga Distancia Nacional (LDN). Fuente: El Autor.

Localidad	N° de Llamadas	N° de Minutos	Monto (Bs.)	Busy Hour (Minutos)	Erlang	Troncales
Región Zuliana	4.740	10.921	2.609.300,69	84,39	1,41	5
Región Centro Occidental	7.349	16.523	4.013.896,64	127,68	2,13	6
Región Los Llanos	3.332	5.729	1.466.062,83	44,27	0,74	4
Región Insular	2.760	7.485	1.747.815,54	57,84	0,96	4
Región Nor-Oriental	6.584	16.551	3.916.087,55	127,89	2,13	6
Región Los Andes	9.563	23.634	5.601.877,73	182,63	3,04	8
Región Central	6.013	14.423	3.465.060,53	111,45	1,86	6
Región Guayana	5.586	12.432	3.017.416,43	96,07	1,60	5
Zona Falcón	516	1.283	307.219,11	9,91	0,17	2
TOTAL	74.586	183.495	43.384.332,59	1417,92	23,63	62

En la tabla anterior se muestra las siguientes columnas:

Localidad: Cada una de las regiones y localidades principales que tienen una conexión de red WAN con la sede del SENIAT en Mata de Coco.

N° de Llamadas: Número de llamadas salientes de LDN cursadas desde cada localidad.

N° de Minutos: Minutos cursados de llamadas de LDN desde cada localidad

Monto (Bs.): Costo de las llamadas LDN.

Busy Hour (min.): Cantidad de minutos en la hora más ocupada del día. El cálculo es el siguiente: $Busy\ Hour = (Minutos\ mensuales/22) * 17\%$

Erlangs: Cantidad de tráfico en la hora más ocupada del día. Este valor se obtiene dividiendo la cantidad de minutos en la hora más ocupada del día entre 60:

$Erlangs = \text{Busy Hour} / 60$

Troncales: Número de troncales necesarios por localidad. Para este cálculo se utilizó la tabla erlang B. Se utilizó un grado de servicio (GoS) de 2%. Lo que significa que dos llamadas serán bloqueadas (o desviadas) de cada 100 intentos.

Por otro lado, para la implementación de políticas de QoS, necesarias para el buen funcionamiento de VoIP es necesario definir e identificar los diferentes tipos de tráfico y aplicaciones que se ejecutan en la red del SENIAT de tal forma de proporcionar el ancho de banda y tratamiento adecuado para cada aplicación y servicio.

Se utilizó el analizador de protocolos Sniffer Distributed de Network General para monitorear la red y determinar los tipos de tráfico en la misma y niveles de utilización de los diferentes enlaces que la conforman. Se seleccionó el Sniffer Distributed debido a que este posee interfaces especializadas que permiten conectarse directamente a las interfaces WAN de la red del SENIAT permitiendo obtener desde la información de tráfico y protocolos hasta los porcentajes de errores físicos en las interfaces. Mediante este monitoreo se pudo obtener información como el promedio de ancho de banda utilizado y las diferentes aplicaciones y protocolos en la red de cada uno de los enlaces que interconecta las regiones en la red del SENIAT. A continuación se muestra algunas de las gráficas obtenidas del monitoreo:

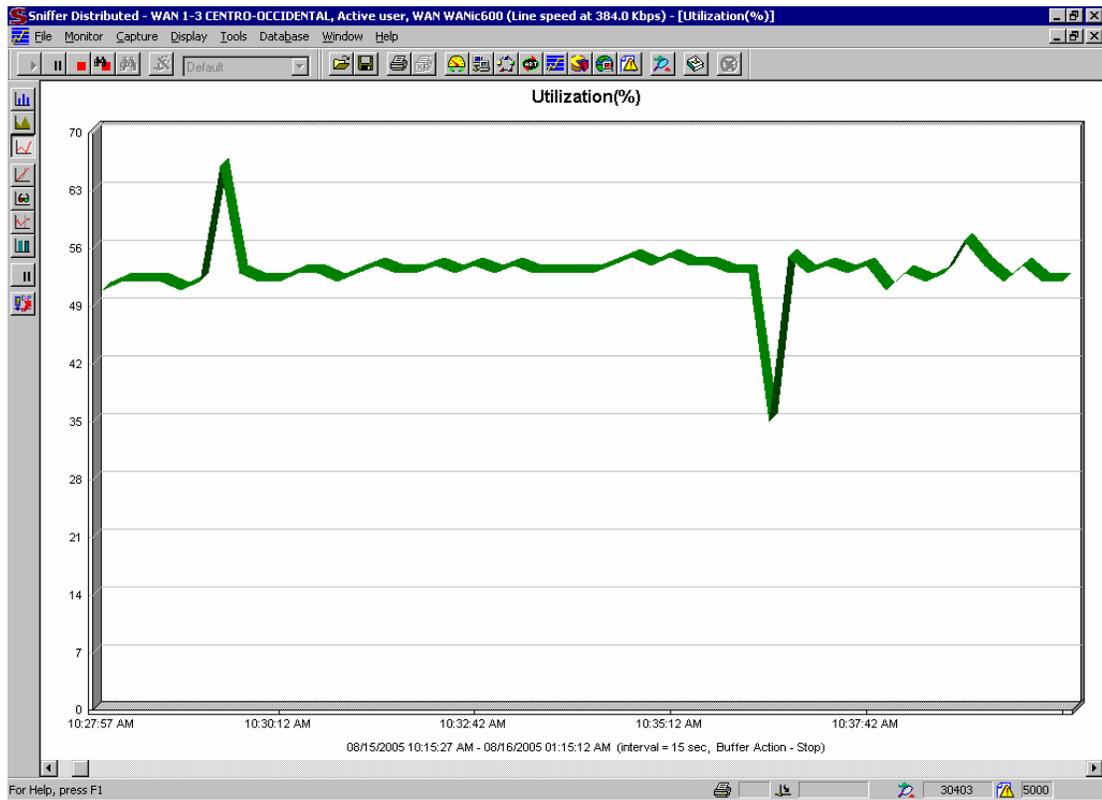


Figura N° 14: Porcentaje de Utilización en el tiempo. Fuente: El Autor.

Este gráfico permite mostrar el porcentaje de utilización de cada enlace con el fin tomar decisiones referente a si es necesario un aumento de ancho de banda.

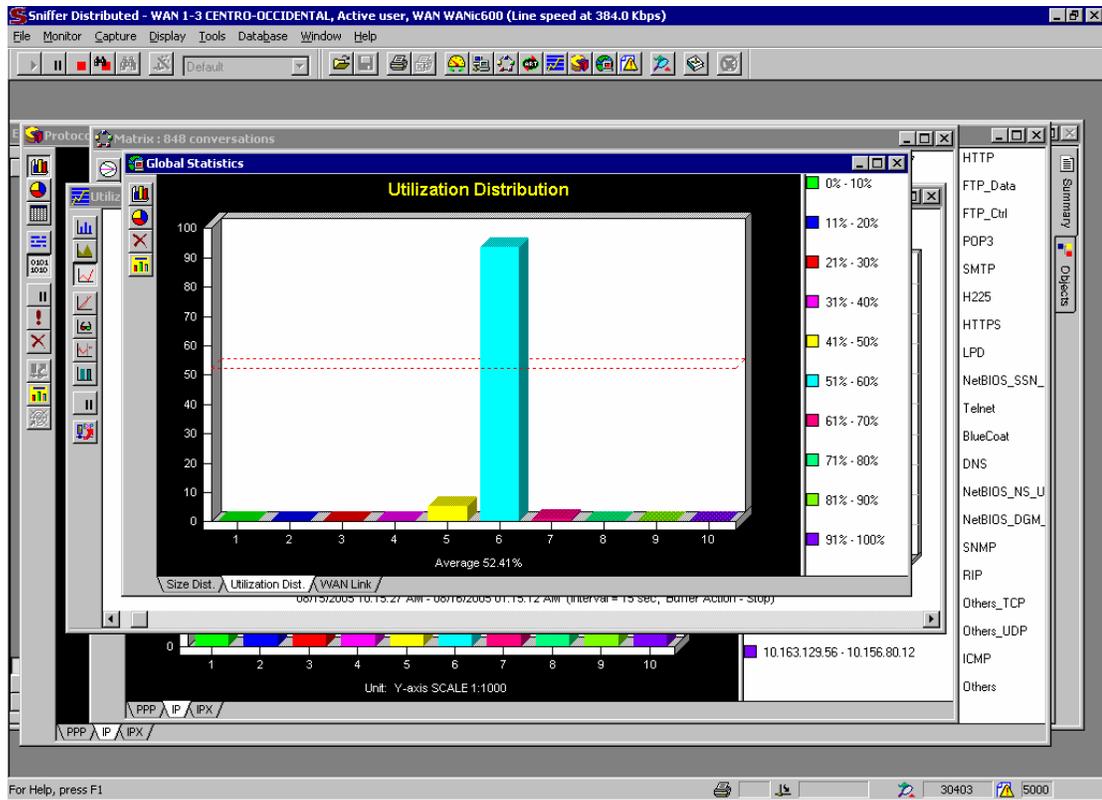


Figura N° 15: Porcentaje de utilización promedio. Fuente: El Autor.

La figura anterior muestra el porcentaje de utilización promedio del enlace monitoreado. Este porcentaje es importante a la hora de tomar decisiones sobre el incremento de ancho de banda con el fin de que el tráfico de voz introducido en cada enlace no afecte el rendimiento de las aplicaciones críticas del SENIAT y el tráfico de voz tenga el ancho de banda adecuado.

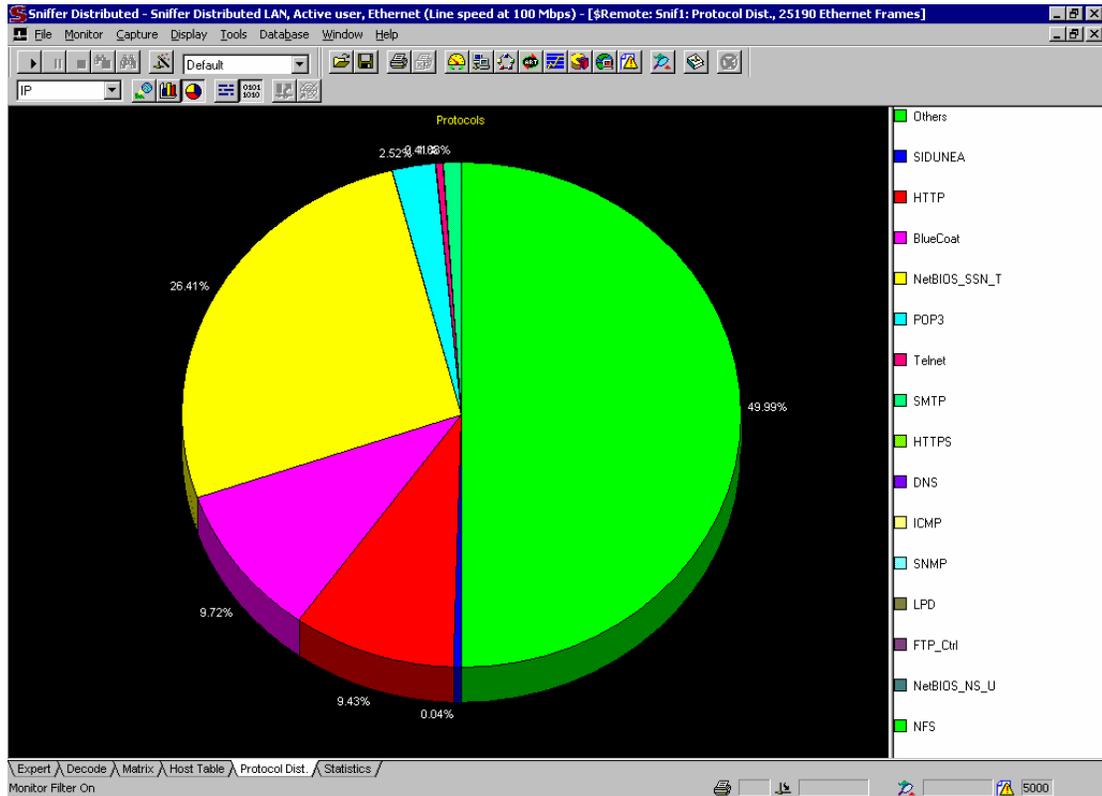


Figura N° 16: Distribución de protocolos. Fuente: El Autor.

El gráfico de Distribución de Protocolos muestra el uso de la red basado en los protocolos de las capas de red, transporte y aplicación. Mediante este gráfico se determinó el alto uso de ancho de banda que tiene el tráfico de navegación de Internet (HTTP) y Correo (SMTP, POP3). Este tipo de tráfico afecta el rendimiento de las aplicaciones críticas del SENIAT y puede afectar el tráfico de voz por lo que es necesario un mecanismo para evitar su alto consumo de ancho de banda.

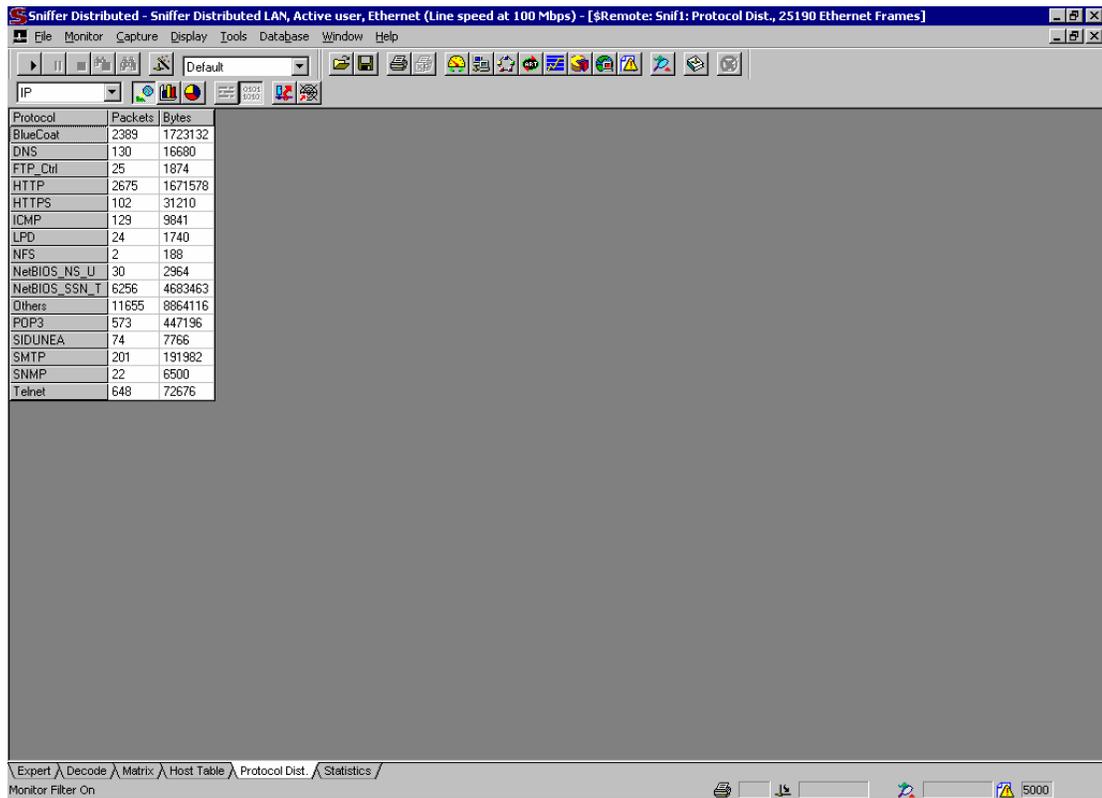


Figura N° 17: Cantidad de tráfico por protocolo. Fuente: El Autor.

El grafico anterior muestra la cantidad de bytes transmitidos por protocolo en los enlaces de comunicaciones monitoreados de la red del SENIAT.

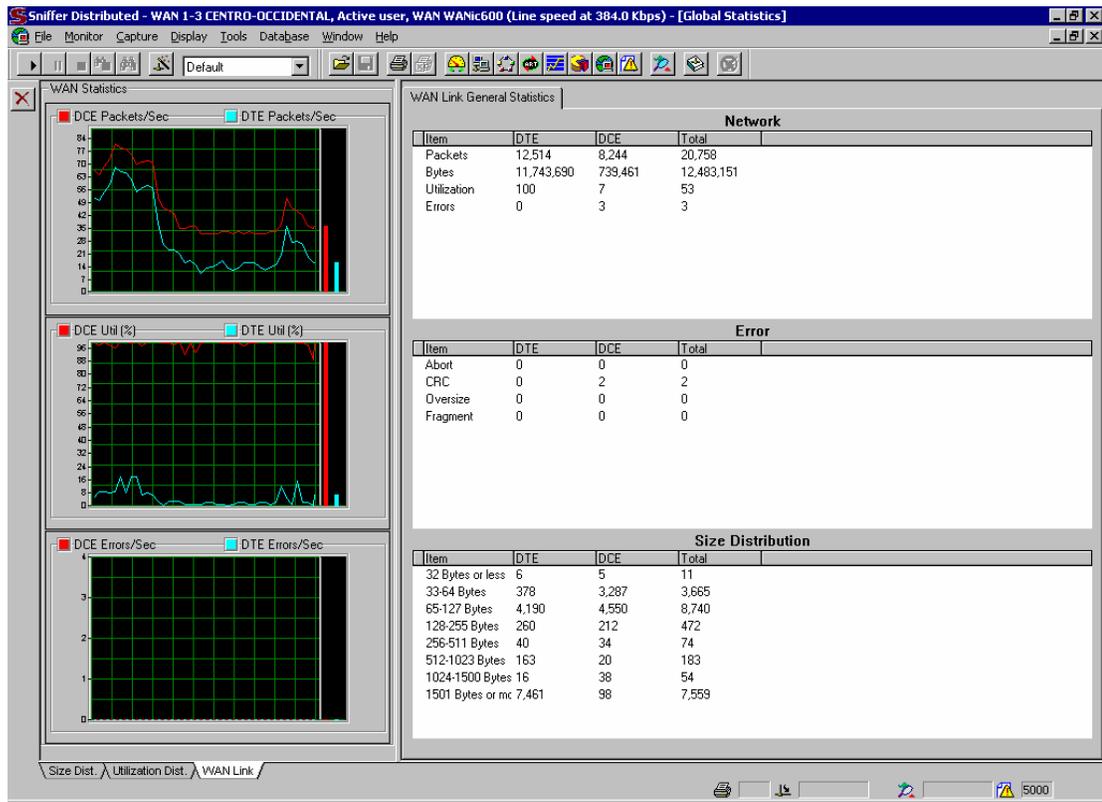


Figura N° 18: Estadísticas de Equipo Terminal de Datos y Terminación del Circuito de Datos. Fuente: El Autor.

Por medio de este gráfico se puede apreciar diferentes estadísticas y tráfico WAN de cada enlace: Paquetes por segundo, Utilización por segundo y errores por segundo así como contadores de varios tipos de errores incluyendo errores físicos (Códigos de Redundancia Cíclica: CRC). Esta información es importante debido a que permite apreciar de forma global el estado de cada enlace de comunicaciones y ofrece la posibilidad de detectar enlaces con errores que puedan afectar el tráfico de voz y las aplicaciones críticas en la red del SENIAT.

Estas estadísticas se obtuvieron por enlace para determinar en cual de estos se estaban presentando problemas y en cuales era necesario aumentar el ancho de banda con el

fin de que el tráfico de voz no se viera afectado. Las estadísticas por región o localidad principal son las siguientes:

Tabla N° 20: Cálculos de disponibilidad de ancho de banda de los enlaces de comunicaciones de la regiones del SENIAT. Fuente: El Autor.

Localidad	Ancho de Banda Actual (Kbps)	% Utilización Promedio del Enlace	Ancho de Banda Utilizado (Kbps)	Ancho de Banda Restante (Kbps)
Región Zuliana	512	80,02	409,70	102,30
Región Centro Occidental	384	72,41	278,05	105,95
Región Los Llanos	384	78,00	299,52	84,48
Región Insular	512	82,00	419,84	92,16
Región Nor-Oriental	512	87,21	446,52	65,48
Región Los Andes	384	95,00	364,80	19,20
Región Central	384	82,18	315,57	68,43
Región Guayana	768	89,79	689,59	78,41
Zona Falcon	256	70,00	179,20	76,80

IV.2.- Cálculos de Ancho de Banda

Debido a que el ancho de banda es uno de los componentes más costosos en la red, se realizaron cálculos para determinar el ancho de banda total requerido por el tráfico de voz y las formas de reducir el consumo total.

A continuación se muestra una tabla con una lista de codecs y su ancho de banda asociado con técnicas de compresión y eficiencia de enlace:

Tabla N° 21: Ancho de Banda por Codec. Fuente: Cisco IOS Voice, Video, and Fax Configuration Guide.

Compression Technique	Payload Size	Bandwidth at Full Rate with MLPPP or FRF.12	Bandwidth with CRTP and MLPPP	Bandwidth with VAD and MLPP or FRF.12	Bandwidth with CRTP, VAD, and MLPPP or FRF.12
G.711 (64 kbps)	240 bytes	76 kbps	66 kbps	50 kbps	43 kbps
G.711 (64 kbps)	120 bytes	89 kbps	68 kbps	58 kbps	44 kbps
G.726 (32 kbps)	120 bytes	44 kbps	34 kbps	29 kbps	22 kbps
G.726 (32 kbps)	60 bytes	57 kbps	36 kbps	37 kbps	24 kbps
G.726 (24 kbps)	80 bytes	38 kbps	27 kbps	25 kbps	17 kbps
G.726 (24 kbps)	40 bytes	52 kbps	29 kbps	34 kbps	19 kbps
G.728 (16 kbps)	80 bytes	25 kbps	18 kbps	17 kbps	12 kbps
G.728 (16 kbps)	40 bytes	35 kbps	19 kbps	23 kbps	13 kbps
G.729 (8 kbps)	40 bytes	17.2 kbps	9.6 kbps	11.2 kbps	6.3 kbps
G.729 (8 kbps)	20 bytes	26.4 kbps	11.2 kbps	17.2 kbps	7.3 kbps
G.723.1 (6.3 kbps)	48 bytes	12.3 kbps	7.4 kbps	8.0 kbps	4.8 kbps
G.723.1 (6.3 kbps)	24 bytes	18.4 kbps	8.4 kbps	12.0 kbps	5.5 kbps
G.723.1 (5.3 kbps)	40 bytes	11.4 kbps	6.4 kbps	7.4 kbps	4.1 kbps
G.723.1 (5.3 kbps)	20 bytes	17.5 kbps	7.4 kbps	11.4 kbps	4.8 kbps

Como se muestra en la tabla anterior cada codec tiene varios tamaños de muestras (payload size) que afectan el ancho de banda total. Una muestra de voz es definida como una salida digital desde un codec DSP que es encapsulado dentro de una unidad de datos de protocolo (PDU). Cuando se encapsulan más muestras por PDU, el ancho de banda total se reduce. Sin embargo, encapsulando más muestras por PDU trae el riesgo de obtener grandes PDUs, lo cual causa retardo variable y cortes en la comunicación si los PDUs son descartados.

A continuación algunos conceptos relacionados con la tabla anterior:

MLPPP (Multilink Point to Point Protocol) es un método de dividir, recombinar y secuenciar datagramas a través de múltiples enlaces de datos lógicos.

FRF.12 es un estándar del Forum Frame Relay (Frame Relay Forum: FRF) que fragmenta paquetes en frames más pequeños.

CRTP (Compressed Real-Time Transport Protocol) es un protocolo de compresión que comprime la cabecera IP/UDP/RTP en un paquete de datos RTP de 40 bytes a aproximadamente 2 a 5 bytes.

VAD (Voice Activity Detection) es un algoritmo usado en el procesamiento de la voz en el que, la presencia o ausencia de la voz humana es detectada en las muestras de audio. En las redes de VoIP todas las conversaciones y silencios son paquetizadas. VAD suprime los paquetes de silencio. En vez de enviar los paquetes de VoIP de silencio, los gateways de VoIP entrelazan el tráfico de datos con las conversaciones de VoIP para utilizar más efectivamente el ancho de banda de la red.

El impacto de las muestras de voz se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 22: Impacto de muestras de voz. Cisco IOS Voice, Video, and Fax Configuration Guide.

Codec	Bandwidth	Sample Size	Packets
G.711	64000	240	33
G.711	64000	160	50
G.726r32	32000	120	33
G.726r32	32000	80	50
G.726r24	24000	80	25
G.726r24	24000	60	33
G.726r16	16000	80	25
G.726r16	16000	40	50
G.728	16000	80	13
G.728	16000	40	25
G.729	8000	40	25
G.729	8000	20	50
G.723r63	6300	48	16
G.723r63	6300	24	33
G.723r53	5300	40	17
G.723r53	5300	20	33

En la tabla anterior el ancho de banda (Bandwidth) es reflejado en bits por segundos (bps) mientras que el tamaño de la muestra (Sample Size) es en milisegundos.

Para determinar el número de bytes encapsulados en un PDU basado en el ancho de banda del codec y el tamaño de la muestra se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$\text{Bytes_por_muestra} = (\text{tamaño_de_la_muestra} * \text{ancho_de_banda_del_codec})/8$$

Si se utiliza el codec G.729 con muestras de 20 ms (.020 segundos) tenemos:

$$\text{Bytes_por_muestra} = (.020 * 8000)/8 = 20 \text{ bytes}$$

En el caso del SENIAT se seleccionó el codec G.729 con muestras 20ms debido al bajo ancho de banda utilizado y a la calidad de la voz durante una conversación.

Sobrecarga (overhead) de Enlace de Datos

Otro factor que contribuye al aumento del ancho de banda requerido es el protocolo de capa 2 usado para transportar VoIP. VoIP solo transporta encabezados IP/UDP/RTP de 40 bytes, asumiendo que RTP no está comprimido. Dependiendo del protocolo de capa 2 usado, el overhead puede crecer sustancialmente. Entre mayor sea el overhead de capa 2, mayor el ancho de banda requerido para transportar VoIP.

A continuación se muestra una tabla con los protocolos de capa dos más comunes y su overhead asociado:

Tabla N° 23: Overhead de protocolos de capa 2. Fuente: EL Autor.

Protocolo	Overhead (Bytes)
Ethernet	18
HDLC	7
Point-to-Point Protocol (PPP)	6
Multilink Point-to-Point Protocol (MLP)	7
Frame Relay (FRF.12)	7

En la red del SENIAT se estaba utilizando el protocolo HDLC, el cual es el protocolo de capa 2 por defecto en routers Cisco. Se recomendó sustituir este protocolo por MLP debido a que permite implementar mecanismos de eficiencia de enlace como Fragmentación e intercalado de enlace.

A continuación se muestra el overhead de capa 2 para Multilink Point-to-Point Protocol utilizado en la red WAN del SENIAT:

Multilink Point-to-Point Protocol (MLP): 6 bytes de overhead: 1 byte de indicador (flag), 1 byte para dirección, 2 bytes para control (o tipo), y 2 bytes para CRC.

Adicionalmente MLP utiliza una bandera de fin de frame (end-of-frame flag) de 1 byte.

La configuración para la implementación del encapsulamiento de capa 2 PPP y el MLP en el SENIAT se muestra a continuación:

interface multilink1

ip address x.x.x.x.

fair-queue

ppp multilink

ppp multilink-group 1

ppp multilink fragment-delay 10

ppp multilink interleave

bandwidth 128

interface Serial0/0

no ip address

encapsulation ppp

ppp multilink

ppp multilink-group 1

La descripción de cada uno de estos comandos es la siguiente:

interface multilink: Define una interfaz Multilink para la implementación de los mecanismos de eficiencia de enlace.

ppp multilink: Habilita MLP en una interfaz PPP.

multilink-group 1: Asigna un número de grupo a la interfaz multilink. En el caso de una interfaz física (Serial0/0 por ejemplo) este comando se usa para asociar la interfaz física con una interfaz lógica multilink.

ppp multilink fragment-delay 10: permite especificar el retardo de fragmentación máximo deseado para la conexión multilink entrelazada. El tamaño de fragmentación máximo es calculado del ancho de banda de la interfaz y el retardo máximo especificado:

Tabla N° 24: Retardo de serialización para varios tamaños de frames en enlaces de baja velocidad.
 Retardo de serialización = Tamaño del frame (bits) / Ancho de banda del enlace (bps). Fuente:
 Integración de Redes de Voz y Datos.

	1 Byte	64 Bytes	128 Bytes	256 Bytes	512 Bytes	1024 Bytes	1500 Bytes
56 Kbps	143 ms	9 ms	18 ms	36 ms	72 ms	144 ms	214 ms
64 Kbps	125 ms	8 ms	16 ms	32 ms	64 ms	128 ms	187 ms
128 Kbps	62.5 ms	4 ms	8 ms	16 ms	32 ms	64 ms	93 ms
256 Kbps	31 ms	2 ms	4 ms	8 ms	16 ms	32 ms	46 ms
512 Kbps	15.5 ms	1 ms	2 ms	4 ms	8 ms	16 ms	23 ms
768 Kbps	10 ms	640 ms	1.28 ms	2.56 ms	5.1 ms	10.2 ms	15 ms
1536 Kbps	5 ms	320 ms	640 ms	1.28 ms	2.56 ms	5.12 ms	7.5 ms

El valor por defecto es 30 ms. Para cumplir con el objetivo de retardo de serialización estándar de 10 a 15 ms para asegurar bajo retardo y jitter para paquetes de voz, un tamaño de 80 bytes por cada 64 kbps de velocidad de reloj para la interfaz debe ser configurado. En el caso del SENIAT se seleccionó 10 ms el cual provee los siguientes retardos de serialización para diferentes velocidades:

Tabla N° 25: Tamaño de fragmentación recomendado para la voz. Fuente: Integración de Redes de Voz y Datos

Link Bandwidth	10 ms	20 ms	30 ms	40 ms	50 ms	100 ms	200 ms
56 Kbps	70 bytes	140 bytes	210 bytes	280 bytes	350 bytes	700 bytes	1400 bytes
64 Kbps	80 bytes	160 bytes	240 bytes	320 bytes	400 bytes	800 bytes	1600 bytes
128 Kbps	160 bytes	320 bytes	480 bytes	640 bytes	800 bytes	1600 bytes	3200 bytes
256 Kbps	320 bytes	640 bytes	960 bytes	1280 bytes	1600 bytes	3200 bytes	6400 bytes
512 Kbps	640 bytes	1280 bytes	1920 bytes	2560 bytes	3200 bytes	6400 bytes	12800 bytes
768 Kbps	1000 bytes	2000 bytes	3000 bytes	4000 bytes	5000 bytes	10000 bytes	20000 bytes
1536 Kbps	2000 bytes	4000 bytes	6000 bytes	8000 bytes	10000 bytes	20000 bytes	40000 bytes

↑
Recomendación para
voz (< 15ms)

ppp multilink interleave: Este comando habilita el entrelazado de fragmentos dentro de la conexión multilink.

encapsulation ppp: Establece PPP como método de encapsulamiento de capa 2 en la interfaz.

Cálculos de ancho de banda total para una llamada de VoIP

La selección del Codec, el overhead de capa 2, el tamaño de la muestra y la compresión tienen impactos positivos y negativos en el ancho de banda total. Para

realizar los cálculos, se debe considerar los siguientes factores como parte de la ecuación:

- Más ancho de banda requerido por el codec = más ancho de banda total requerido.
- Más overhead asociado con el enlace de datos = más ancho de banda total requerido
- Mayor tamaño de muestra = menos ancho de banda requerido
- RTP comprimido = reduce significativamente el ancho de banda total requerido.

Para calcular el ancho de banda se usa la siguiente fórmula:

$$\text{Ancho_de_banda_Total} = ([\text{Overhead_de_capa_2} + \text{bandera_de_fin_de_frame} + \text{Overhead_IP_UDP_RTP} + \text{Tamaño_de_la_muestra}] / \text{Tamaño_de_la_muestra}) * \text{Velocidad_del_Codec}$$

En el caso del SENIAT se realizó el siguiente cálculo:

$$\text{Ancho_de_banda_Total} = ([6 + 1 + 40 + 20] / 20) * 8000 = 26.800 \text{ bps} = 26.8 \text{ Kbps}$$

Realizando el cálculo utilizando RTP comprimido:

$$\text{Ancho_de_banda_Total} = ([6 + 1 + 2 + 20] / 20) * 8000 = 11.600 \text{ bps} = 11.6 \text{ Kbps}$$

Adicionalmente se debe agregar un 5% adicional de overhead de ancho de banda por llamada para la señalización. Por ejemplo: Mensajes RTCP/H225/H245 en redes H.323:

$$\text{Ancho_de_banda_Total: } 11.6 \text{ Kbps} + 5\% \text{ overhead (0,58)} = 12,18 \text{ Kbps}$$

Efectos de Voice Activity Detection (VAD) en el ancho de banda

En promedio, según estudios de realizados por Cisco System (Fuente: Cisco Voice over IP CVOICE v4.2) 24 o más llamadas simultaneas pueden contener 35 % de silencio. En las redes telefónicas tradicionales, todas las llamadas de voz usan 64 kbps fijos de ancho de banda sin importar cuanto de la conversación es voz y cuanto es silencio. Con VAD el silencio en las conversaciones es suprimido lo que permite utilizar el ancho de banda de una forma más eficiente.

VAD provee un máximo de ganancia de ancho de banda de 35 % basado en un volumen promedio de más de 24 llamadas. El ahorro no se obtiene en cada llamada de voz individual o en algún punto específico de medida.

En los routers Cisco utilizados en el SENIAT, VAD se encuentra habilitado por defecto lo que permite reducir el silencio en las conversaciones VoIP así como proveer generación de ruido de confort (CNG: comfort noise generation). Debido a que se puede malinterpretar el silencio como una llamada desconectada, CNG provee ruido generado localmente para hacer que la llamada parezca normalmente conectada.

En el caso de los troncales IP del SENIAT donde el tráfico promedio sean más de 24 llamadas simultáneas, el ancho de banda total por conversación será:

$$\text{Ancho_de_banda_Total} = 12,18 \text{ Kbps} - 35\% \text{ VAD (4,263)} = 7,917 \text{ Kbps}$$

En conclusión, para los efectos de planeación de capacidad en la implementación de VoIP en la red del SENIAT se utilizó el valor 12,18 Kbps por cada llamada. A continuación se muestra un resumen de la información utilizada para realizar los cálculos de ancho de banda:

- Tabla N° 26: Resumen de los cálculos de Ancho de Banda. Fuente: www.cisco.com

Codec:	g729	
Tamaño de la carga útil de la voz:	20 bytes	
Protocolo de Voz:	VoIP	
Compresión:	Habilitada	
Acceso al Medio:	MPPP	
Información del Codec		
Velocidad de Codec (Bit Rate)	8 kbps	= (Tamaño de la muestra del Codec * 8) / (Intervalo de Muestreo del Codec)
Tamaño de la muestra del Codec	10 bytes	Tamaño de cada muestra de codec individual
Intervalo de Muestreo del Codec	10 msec	El tiempo que se toma una sola muestra
Ancho de Banda por Llamada (VoIP)		
Paquetes de Voz por Segundo	50	(Velocidad del Codec/ Tamaño de la Carga Útil de la voz)
Ancho de banda por Llamada (Solo RTP)	11.6 kbps	(Tamaño Total del Paquete (bits) + Bandera (bits)) * (Paquetes por Segundo)
5% de Sobrecarga (Overhead) Adicional	0.58 kbps	5% de sobrecarga adicional por llamada para ancho de banda de señalización.
Ancho de Banda por Llamada + 5.0% Sobrecarga Adicional	12.18 kbps	Sobrecarga + Ancho de Banda por Llamada
Ancho de Banda Total Requerido (VoIP)		
Ancho de Banda Usado por todas las Llamadas (Solo RTP)	11.6 kbps	(Ancho de Banda por Llamadas) * (Número de Llamadas)
Ancho de Banda Total	12.18 kbps	(Ancho de Banda por Llamadas) * (Número

(incluyendo Sobrecarga)		de Llamadas) + 5.0% Sobrecarga
Cálculo del Tamaño del Paquete		
Tamaño Total del Paquete	28 bytes	Excluyendo la bandera del frame
Tamaño de la Carga Útil de la Voz	20 bytes	Tamaño de las muestras del codec por paquete
Sobrecarga de Capa 2	6 bytes	Sobrecarga de Capa 2 incluyendo CRC
Encabezado Comprimido	2 bytes	Encabezado IP/UDP/RTP Comprimido
Bandera del Frame (Frame Flag)	1 byte	La mayoría de los frames modernos pueden manejar una sola bandera entre frames (Ej. Sin flag de comienzo)
Si se apaga la compresión		
Compresión	Encendido (kbps)	Apagado (kbps)
Ancho de Banda Por Llamada (Solo RTP)	11 kbps	26 kbps
5.0% de Sobrecarga Adicional	0.58 kbps	1.34 kbps
Ancho de Banda Por Llamada + 5.0% de Sobrecarga Adicional	12.18 kbps	28.14 kbps
Ancho de Banda Salvado Por Llamada con la Compresión Habilitada	15.96 kbps	

De acuerdo a los resultados obtenidos, a continuación se muestra la cantidad de ancho de banda necesario para cada localidad de acuerdo al número de troncales definidos anteriormente (Tabla N° 19: Información de troncales por localidad para llamadas salientes de Larga Distancia Nacional (LDN)) y el ancho de banda disponible en los enlaces de las regiones calculados anteriormente (Tabla N° 20: Cálculos de disponibilidad de ancho de banda de los enlaces de comunicaciones de la regiones del SENIAT):

Tabla N° 27: Ancho de Banda por Localidad. Fuente: El Autor

Localidad	Ancho de Banda Actual (Kbps)	% Utilización Promedio del Enlace	Ancho de Banda Utilizado (Kbps)	Ancho de Banda Restante (Kbps)	Troncales de VoIP Requeridos	Ancho de Banda Requerido VoIP(Kbps)	Ancho de Banda Total Necesario (Kbps)
Región Zuliana	512	80,02	409,70	102,30	5	60,90	0
Región Centro Occidental	384	72,41	278,05	105,95	6	73,08	0
Región Los Llanos	384	78,00	299,52	84,48	4	48,72	0
Región Insular	512	82,00	419,84	92,16	4	48,72	0
Región Nor-Oriental	512	87,21	446,52	65,48	6	73,08	7,60
Región Los Andes	384	95,00	364,80	19,20	8	97,44	78,24
Región Central	384	82,18	315,57	68,43	6	73,08	4,65
Región Guayana	768	89,79	689,59	78,41	5	60,90	0
Zona Falcón	256	84,46	216,21	39,79	2	24,36	0

La columna Ancho de Banda Requerido (Kbps) define la cantidad de ancho de banda necesaria para cursar el tráfico de los troncales calculados. Para obtener este valor se multiplica el número de troncales por 12,18 Kbps que es la cantidad de ancho de banda por llamada de VoIP.

IV.3.- Políticas de Calidad de Servicio

El modelo de implementación de QoS seleccionado para la red del SENIAT fue el modelo de Servicios Diferenciados o DiffServ debido a que es altamente escalable y permite aplicar muchos niveles de calidad para diferentes flujos de datos sin generar tráfico de señalización en la red antes de iniciar la transferencia de datos.

Una vez identificados los tipos de tráfico y aplicaciones por medio del monitoreo del Sniffer Distributed (HTTP, POP3, SMTP, etc.) se siguieron las mejores prácticas de Cisco para la implementación de políticas de QoS para definir las políticas para la red del SENIAT. Para hacer esto fue necesaria la actualización de los routers Cisco 7200 y 1760 para que pudieran soportar características como CB-WFQ, Class-Based RTP y TCP Header Compression y ECN. La actualización realizada fue la siguiente:

Tabla N° 28: Actualización de IOS de Routers para soportar características de QoS. Fuente: El Autor.

Equipo	Versión IOS Anterior	Nueva Versión IOS
7200	12.2(8)T5:c7200-js-mz.122-8.T5.bin	12.3(12a):c7200-jk9s-mz.123-12a.bin
1760	12.2(15)T2:c1700-sv3y-mz.122-15.T2.bin	12.3(3c):c1700-sv3y-mz.123-3c.bin

No fue necesaria la actualización de otros routers (Cisco 3745 y 3725) para la implementación de políticas de QoS.

Es importante señalar que para la implementación de políticas de QoS al tráfico de voz es necesario tomar en cuenta de forma integral todo el tráfico que viaja en la red de tal forma de proveer el tratamiento adecuado a cada tipo de aplicación y tráfico para que no afecte la calidad de la voz.

A continuación se describen las aplicaciones tomadas en cuenta para la aplicación de políticas de QoS:

Tabla N° 29: Aplicaciones y características de QoS en el SENIAT. Fuente: El Autor.

Tipo de Tráfico	Aplicaciones	Marca DSCP	Ancho de Banda	Compresión
Servicios de Voz	Voz	EF	Variable (Depende de la localidad y la cantidad de troncales requeridos)	Si
Misión Crítica	iSENIAT, SIDUNEA,	AF31	40%	No
Aplicaciones Interactivas	SIVIT, CODA	AF21	15%	Si
Tráfico No-Estándar	Control Remoto, CONGES, Telnet, ICMP, HelpDesk, Terminal Services, etc.	AF23	8%	No
Servicios de Mejor Esfuerzo	Internet, Correo, etc.	Default	37%	No

Algunas de las aplicaciones de misión crítica, interactivas y no estándar se describen a continuación:

iSENIAT: Portal Web del SENIAT que representa una plataforma tecnológica que combina la posibilidad de consultar la más amplia información tributaria, a la vez que permite hacer, entre otras funciones, declaraciones, retenciones y pagos de impuestos, consultar estado de cuenta consolidado y por tipo de impuesto específico e iniciar y hacer seguimiento de trámites mediante una herramienta sencilla, guiada paso a paso.

SIDUNEA (Sistema Aduanero Automatizado): Es una herramienta informática para el control y administración de la gestión aduanera, desarrollada por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Comercio y el Desarrollo (UNCTAD). SIDUNEA permite realizar un seguimiento automatizado de las operaciones aduaneras y controlar efectivamente la recaudación de los impuestos aduaneros ya que verifica automáticamente los registros, calcula los impuestos y contabiliza todo lo relativo a cada declaración, con mínima intervención del factor humano subjetivo.

SIVIT (Sistema Venezolano de Información Tributaria): Permite el registro de contribuyentes, información Fiscal Básica e identificación de obligaciones tributarias (RIF, NIT), recepción de declaraciones, control de omisos, control de morosos y cuenta corriente de contribuyentes, control y seguimiento de la recaudación, declaración y liquidación de las multas e intereses de los diferentes tributos, registro de liquidación, anulaciones, compensaciones y reintegros, contabilidad fiscal.

CODA: Aplicación que permite la transcripción e impresión de las Planillas de Liquidación de Gravámenes Aduaneros, conocer instantáneamente la información de los pagos realizados por concepto de importaciones, Agilizar el proceso de liberación y entrega de las mercancías importadas en las Aduanas, llevar un control oportuno y veraz de los tributos recaudados por derechos de importación, entre otras funciones

CONGES: Esta aplicación permite controlar y hacer seguimiento a los procedimientos administrativos que involucran el cumplimiento de un flujo de trabajo, en el que participen distintas Dependencias del Servicio. Contempla básicamente las áreas de Fiscalización, Sumario Administrativo, Cobranza Administrativa y Coactiva, Asistencia al Contribuyente y Reintegro del IVA a los exportadores.

Las otras aplicaciones como Telnet, ICMP, etc. Son protocolos o aplicaciones estándar que se utilizan que no son aplicaciones críticas pero que tienen cierta importancia ya que son utilizados, por ejemplo, para administración remota de equipos de comunicaciones como es el caso del Telnet.

Los porcentajes asignados a cada clase de tráfico fueron determinados siguiendo las mejores prácticas de Cisco, resultados del monitoreo de la red y por medio de consultas y reuniones con Gerentes y personal clave en el SENIAT lo cual ayudó a identificar la importancia de cada una de las aplicaciones para la institución. Los porcentajes por cada clase de tráfico se fueron ajustando en el tiempo de acuerdo al monitoreo realizado por medio de analizadores de protocolo, routers de comunicaciones y la retroalimentación de los usuarios.

La implementación de políticas de QoS en el SENIAT se basó en tres pasos:

- Primero, se configuró la clasificación del tráfico usando el comando class-map, agrupando el tráfico con listas de acceso y valores en el campo DSCP del paquete IP.
- Segundo, se configuró las políticas de tráfico asociando clases de tráfico con una o más características de QoS usando el comando policy-map.
- Finalmente, se asoció la política de tráfico al tráfico entrante o saliente en las interfaces usando el comando service-policy.

La siguiente figura describe los pasos envueltos en la implementación de políticas de QoS:

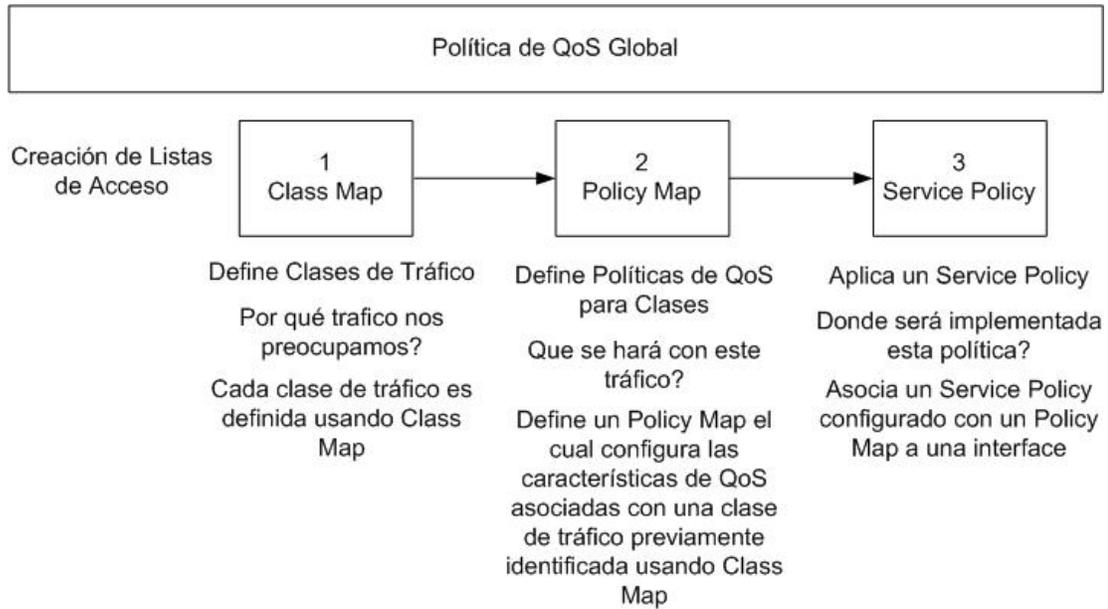


Figura N° 19: Pasos para implementar QoS. Fuente: Implementing Cisco Quality of Service.

A continuación se describe detalladamente los pasos llevados a cabo para la implementación de QoS en el SENIAT:

Clasificación: Para la clasificación del tráfico de acuerdo a las aplicaciones definidas en la tabla anterior se crearon las siguientes listas de acceso extendidas las cuales serán aplicadas a las interfaces Ethernet de los Routers Cisco para identificar el tráfico cuando ingrese al mismo. Las listas de acceso utilizan como criterio de selección las direcciones IP origen y destino de los servidores, puerto o rango de puertos utilizados, aplicación o protocolo:

Para identificar el tráfico de alta prioridad (misión crítica) se utilizó las direcciones IP de los servidores de iSENIAT (portal www.seniat.gov.ve) y el rango de puertos utilizados por la aplicación SIDUNEA:

```
ip access-list extended Portal-SIDUNEA
 permit ip any host dirección_ip_servidor_iseniat_1
 permit ip any host dirección_ip_servidor_iseniat_2
 permit ip any host dirección_ip_servidor_iseniat_3
 permit tcp any any range Rango_de_Puertos_sistema_sidunea
```

A esta clase se asignó el 40% del ancho de banda disponible debido a que corresponde a las aplicaciones (iSENIAT, SIDUNEA) de producción más críticas para el negocio del SENIAT.

En el caso de las aplicaciones interactivas se utilizó las direcciones IP de los servidores:

```
ip access-list extended SIVIT-CODA
 permit ip any host dirección_ip_servidor_1
 permit ip any host dirección_ip_servidor_2
 permit ip any host dirección_ip_servidor_3
```

En este caso se asignó el 15 % del ancho de banda disponible a las aplicaciones SIVIT y CODA las cuales son importantes para el SENIAT pero estas no consumen gran cantidad de ancho de banda y se aplica compresión de cabecera TCP.

Para las aplicaciones no estándar se utilizaron puertos de aplicaciones (Ej. Terminal Services: 3389 y Dameware Remote Control: 6129), protocolos (Ej: Telnet) y direcciones de servidores:

```
ip access-list extended No-Estandar
 permit tcp any any eq 3389
 permit tcp any any eq 6129
 permit tcp any any eq telnet
```

```
permit icmp any any echo
permit icmp any any echo-reply
permit ip any host dirección_ip_servidor_de_aplicación_no_estándar_1
permit ip any host dirección_ip_servidor_de_aplicación_no_estándar_2
permit ip any host dirección_ip_servidor_de_aplicación_no_estándar_3
```

A estas aplicaciones y protocolos se les asignó el 8% del ancho de banda disponible debido a que se usan en solo algunas localidades (Ej.: CONGES) o son utilizadas para la administración de equipos de comunicaciones o servidores de forma remota.

Clases: Con el objeto de agrupar el tráfico con requerimientos de QoS similares se definieron diferentes clases a las que luego se les aplicará diferentes políticas se definieron grupos lógicos de clases de servicios.

Clases para el marcado de paquetes: Estas clases serán utilizadas para marcar los paquetes con los valores DSCP correspondientes dependiendo del tipo de tráfico utilizando las listas de acceso creadas anteriormente a través del comando *match access-group*:

```
class-map match-any Mission-Critical-SET
description Aplicaciones de Alta Prioridad Portal/SIDUNEA-Marcado
match access-group name Portal-SIDUNEA
```

```
class-map match-all Interactive-SET
description Aplicaciones de Prioridad Media CODA/SIVIT-Marcado
match access-group name SIVIT-CODA
```

```
class-map match-all No-Estandar-SET
description Aplicaciones No Estandar con Prioridad-Marcado
```

match access-group name No-Estandar

El comando match access-group permite especificar una lista de acceso como criterio de correspondencia.

El tráfico de voz y la señalización de voz no se marca en las políticas debido a que se marcan directamente en los iguales de conexión telefónica de VoIP (dial peer) configurados en los gateways de voz. Los comandos utilizados son los siguientes:

ip qos dscp ef media: Establece el valor DSCP EF (Express Forwarding) al tráfico de voz.

ip qos dscp cs3 signaling: Establece el valor DSCP CS3 (Class Select 3) al tráfico de señalización de voz

Por ejemplo:

```
dial-peer voice 1 voip
  destination-pattern numero_telefonico_de_destino (o rango)
  session target ras
ip qos dscp ef media
ip qos dscp cs3 signaling
```

Dial-peer voice 1 voip es el comando usado para crear un igual de conexión telefónica de VoIP.

El comando destination-pattern permite configurar el número telefónico de destino o rango de números.

El comando `session target` permite especificar la dirección IP del router o gateway de destino. La palabra clave `ras` (Registration, Admission, and Status) significa que un gatekeeper debe ser consultado para identificar la dirección IP del gateway de destino.

En este caso el tráfico de voz es marcado con el valor DSCP EF (Expedited Forwarding) lo que le proporciona una baja probabilidad de descarte de paquetes y el menor retardo posible. Así mismo la señalización es marcada con el valor DSCP CS3 (Class Select 3) con el objeto de dar el tratamiento adecuado a este tipo de tráfico evitando los descartes y el retardo.

Clases para aplicación de políticas: Estas clases son utilizadas para aplicar directamente las políticas de QoS a los paquetes IP por medio de las marcas DSCP establecidas a través del comando `match ip dscp`. Este procedimiento se implementó con el fin de no utilizar las listas de acceso para aplicar las políticas directamente debido a que estas introducen un retardo adicional al procesamiento en el router lo que no ocurre cuando se utiliza el campo DSCP:

```
class-map match-all Voice-Services-DSCP
description Tráfico de Voz
match ip dscp ef
```

```
class-map match-any Mission-Critical-DSCP
description Aplicaciones de Alta Prioridad Portal/SIDUNEA-QoS
match ip dscp cs3 af31
```

```
class-map match-all Interactive-DSCP
description Aplicaciones de Prioridad Media CODA/SIVIT-QoS
match ip dscp af21
```

```
class-map match-all No-Estandar-DSCP
description Aplicaciones No Estandar con Prioridad-Marcado
match ip dscp af23
```

La clase Voice-Services-DSCP se utiliza para clasificar el tráfico de voz, el resto de las clases se usan para clasificar el tráfico de datos. El comando `match ip dscp` identifica un valor específico DSCP como criterio de selección de paquetes.

Políticas: Para satisfacer los requerimientos de QoS para cada clase de tráfico se definieron dos políticas de calidad de servicio: Una para el marcado del valor DSCP en los paquetes seleccionados en las clases definidas (Misión-Critical-SET, Interactive-SET y No-Estandar-SET) y otra para definir directamente el tratamiento que se le da a cada paquete de acuerdo a su tipo o clasificación (Voice-Services-DSCP, Mission-Critical-DSCP, Interactive-DSCP, No-Estandar-DSCP y class-default la cual se crea por defecto).

Política para el marcado de paquetes: Por medio de esta política se marca el tráfico de cada clase con el valor DSCP correspondiente. En este caso, con el comando `set ip dscp valor_dscp` se marca los paquetes de alta prioridad con el valor AF31, el tráfico interactivo con AF21 y el tráfico no estándar con AF23.

```
policy-map set-DSCP
description Marcado de paquetes
class Mission-Critical-SET
set ip dscp af31
class Interactive-SET
set ip dscp af21
class No-Estandar-SET
set ip dscp af23
```

Políticas para la aplicación de Ancho de Banda y comportamiento de tráfico:

Esta política define el ancho de banda mínimo o máximo por tipo de tráfico, compresión de cabecera y la administración de la congestión:

```
policy-map QoS-policy
  description Aplicacion de prioridad
  class Voice-Services-DSCP
    priority Ancho_de_Banda_en_Kbps
    compress header ip rtp
  class Mission-Critical-DSCP
    bandwidth remaining percent 40
    random-detect dscp-based
    random-detect ecn
    random-detect dscp 24 34 40
  class Interactive-DSCP
    compress header ip tcp
    bandwidth remaining percent 15
    random-detect dscp-based
    random-detect ecn
  class No-Estandar-DSCP
    bandwidth remaining percent 8
    random-detect dscp-based
    random-detect ecn
  class class-default
    bandwidth remaining percent 37
    random-detect dscp-based
    random-detect ecn
```

Los diferentes niveles de QoS asignados a las diferentes clases son los siguientes:

Voice-Services-DSCP: Al tráfico de voz se le asigna prioridad estricta utilizando colas de baja latencia (LLQ) a través del comando `priority` con el ancho de banda máximo que consumirá en un enlace particular. Al tráfico de voz, a pesar de no ser un tráfico agresivo, se le asigna un ancho de banda máximo para evitar que monopolice el enlace afectando el tráfico de data. De esta forma se reduce el jitter en las conversaciones de voz. Adicionalmente se realiza la compresión de cabecera RTP (CRTP) con el fin de reducir la cabecera IP/TCP/RTP de 40 bytes a 2 o 4 bytes reduciendo considerablemente el ancho de banda utilizado por un paquete IP.

Mission-Critical-DSCP: En el caso del tráfico de alta prioridad se utiliza encolamiento CBWFQ para asignar el 40% del ancho de banda disponible en caso de congestión con el fin de garantizar el óptimo acceso a las aplicaciones de producción. El comando utilizado es `bandwidth remaining percent 40`. Adicionalmente se utilizan mecanismos para evitar la congestión como CB-WRED con el objeto de monitorear la carga en las interfaces de red para anticipar y evitar la congestión en la red por medio de descartes selectivos e inteligentes de paquetes basados en el valor DSCP establecido en cada paquete. Para hacer esto se utiliza el comando `random-detect dscp-based`. Otro mecanismo utilizado para evitar la congestión es ECN (`random-detect ecn`) de forma que el router pueda señalar a los equipos que transmiten informándoles de la existencia de una congestión en lugar de descartar paquetes. El comando `random-detect dscp 24 34 40` es utilizado para asignar al valor DSCP CS3 (Class 3 = 011000) un umbral mínimo de descarte de 34 y uno máximo de 40. Esto se hace ya que los paquetes de señalización de voz serán marcados con CS3 en los gateways de voz.

Interactive-DSCP: Para incrementar el rendimiento y reducir el retardo de las aplicaciones interactivas del SENIAT (SIVIT, CODA) se utiliza la compresión de cabecera TCP de este tipo de tráfico. Este mecanismo de eficiencia de enlace es ideal para el tráfico interactivo ya que es tráfico Telnet el cual genera paquetes con carga

útil pequeña y su encabezado consume un porcentaje significativo del ancho de banda disponible en el enlace relativo a su carga útil. Adicionalmente se utiliza CBWFQ para reservar el 15% de ancho de banda del enlace en caso de congestión y se utilizan los mecanismos para evitar la congestión como son CB-WRED y ECN los cuales fueron descritos anteriormente.

No-Estandar-QoS: Se utiliza CBWFQ para reservar el 8% de ancho de banda del enlace en caso de congestión y se utilizan los mecanismos para evitar la congestión como son CB-WRED y ECN.

Class-default: En esta clase se utiliza CBWFQ para reservar el 37% del ancho de banda disponible para el tráfico restante no incluido en las clases anteriores y se utiliza WRED y ECN. Este alto porcentaje es reservado a la clase por defecto debido a que en esta se encuentran el tráfico de Internet y el tráfico de Correo, entre otros, los cuales son ampliamente utilizados en la red del SENIAT. En caso de asignar un porcentaje menor se descartarían muchos paquetes y se aumentarían considerablemente las retransmisiones afectando el rendimiento de las aplicaciones y de la red en general.

Aplicación de políticas en las interfaces de red: Las políticas de QoS definidas se aplicaron a las interfaces de red correspondientes. La política de marcado de paquetes se aplicó a la interfaz Ethernet para los paquetes de entrada con el comando:

service-policy input set-DSCP

De esta forma los paquetes son clasificados y marcados en el momento de entrar al router. Esto permite que los paquetes viajen a través de la red con la marca definida por tipo de tráfico y reciban el tratamiento adecuado.

La política de comportamiento de tráfico se aplicó a los paquetes de salida de las interfaces multilink:

service-policy output QoS-policy

Con este comando se le garantiza un ancho de banda definida para cada aplicación, compresión de paquetes TCP y RTP, así como la definición de comportamientos para detección temprana de congestión (random-detect).

La siguiente figura muestra los mecanismos de QoS implementados en la red del SENIAT y las interfaces donde se aplican (de entrada o salida):

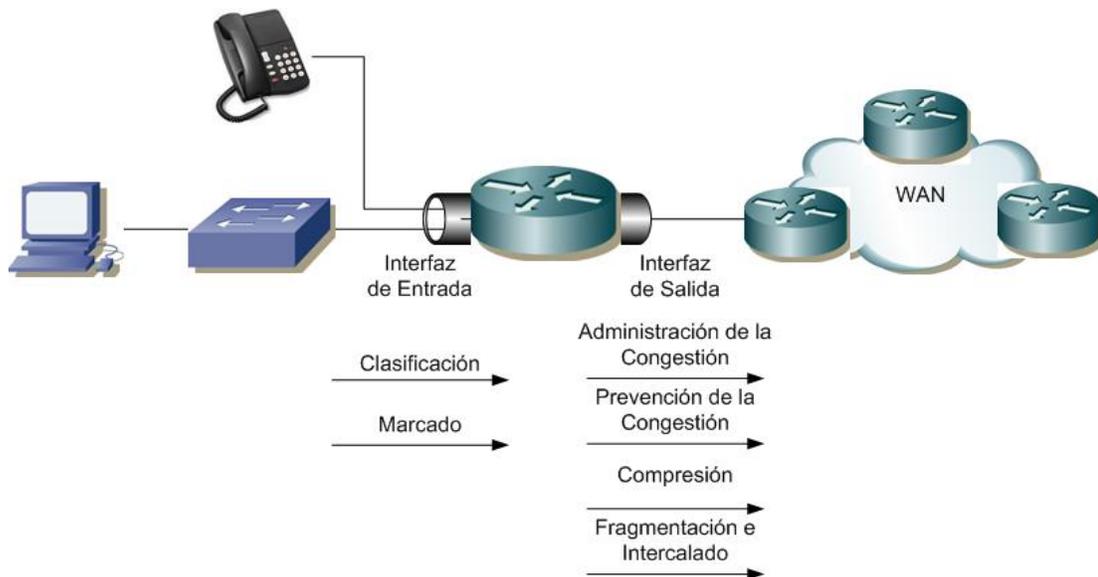


Figura N° 20: Mecanismos de QoS. Fuente: Implementing Cisco Quality of Service.

La configuración completa de uno de los routers en la localidad principal (Mata de Coco) con las políticas de QoS y el Multilink se muestra en el Anexo B (Por razones de seguridad, la información de direccionamiento IP, nombre de comunidad SNMP y

tablas de enrutamiento fue suprimida de la configuración. La información no relevante como interfaces no utilizadas también fue suprimida):

IV.4.- Plan de Numeración

Con el fin de permitir a los usuarios comunicarse entre ellos a través de la plataforma de VoIP en la red de datos del SENIAT y la red de telefonía tradicional por medio de números telefónicos se evaluó el plan de numeración actual. El plan de numeración contiene los números y patrones que el usuario marca para alcanzar un número de destino. El plan de numeración también puede ser definido como el plan de enrutamiento para los números que son marcados.

Actualmente en el SENIAT se encuentra bien establecido un esquema de enrutamiento de llamadas con el cual el usuario se encuentra bien identificado. Con el objeto de minimizar el impacto a estos usuarios con la implementación de la nueva tecnología se decidió usar el mismo esquema tradicional para hacer transparente la introducción de VoIP en la plataforma de comunicaciones. Por ejemplo, los usuarios utilizan 9 como código de acceso a líneas externas en la PSTN.

A continuación se muestra un ejemplo del plan de numeración en la red de VoIP del SENIAT:

Tabla N° 30: Plan de numeración. Fuente: El Autor.

Localidad	Router	Código de Acceso	Código de Área de la Localidad	Rango de Localidad	Rango de Extensiones
Mata de coco	NoMaco	9	0212	3 dígitos ...	4 dígitos
Aduana Santa Elena de Uairén	ApSeua	9	0289	3 dígitos ...	4 dígitos
Aduana de Paraguachón	AsPara	9	0261	3 dígitos ...	4 dígitos

IV.5.- Componentes de VoIP

La implementación de VoIP en el SENIAT se basó en dos soluciones:

1.- En las localidades donde se encuentran instaladas PBXs se utilizó la red WAN para la interconexión de las mismas. En este caso todas las decisiones de enrutamiento se llevan a cabo en las PBXs. En el momento de cursar llamadas entre las dos localidades las PBXs utilizan como primera opción de red de datos y en caso de no estar disponible se utiliza la PSTN. La red de datos del SENIAT es transparente para los usuarios. En este caso se utiliza la red WAN en conjunto con VoIP para simular un troncal.

Para realizar la interconexión entre las PBXs y los gateways de voz Cisco se utilizó el formato de señalización QSIG (CCS: Señalización por Canal Común). Se seleccionó el protocolo QSIG ya que este se está convirtiendo en el estándar mundial para la interconexión de PBXs. Usando la señalización QSIG, los dispositivos Cisco pueden enrutar llamadas de voz entrantes desde una PBX a la WAN hacia otro dispositivo

Cisco, el cual puede luego transportar los paquetes de señalización y voz a una segunda PBX. La red de paquetes de Cisco aparece ante la PBX como una gran PBX de tránsito distribuida que puede establecer llamadas a cualquier destino servido por un nodo de voz Cisco. Las conexiones de voz son establecidas y terminadas en respuesta de mensajes de control QSIG que vienen sobre un canal ISDN PRI D. El mensaje QSIG se pasa transparentemente a través de la red IP y el mensaje aparece en la PBX como una red de tránsito.

Otros de los beneficios por los cuales se seleccionó el protocolo de señalización QSIG son los siguientes:

- Soporte transparente para servicios suplementarios de PBX para que las características propietarias de la PBX no se pierdan cuando se conecte la PBX a una red Cisco.
- Soporte para ancho de banda en demanda, utilizando los recursos de la red solo cuando se establece una conexión.
- Compatibilidad con H.323 para establecimiento de llamadas IP y transporte de mensajes QSIG.
- Acceso a múltiples PBXs remotas con una sola conexión a un dispositivo Cisco.

Un ejemplo de esta solución se muestra a continuación:

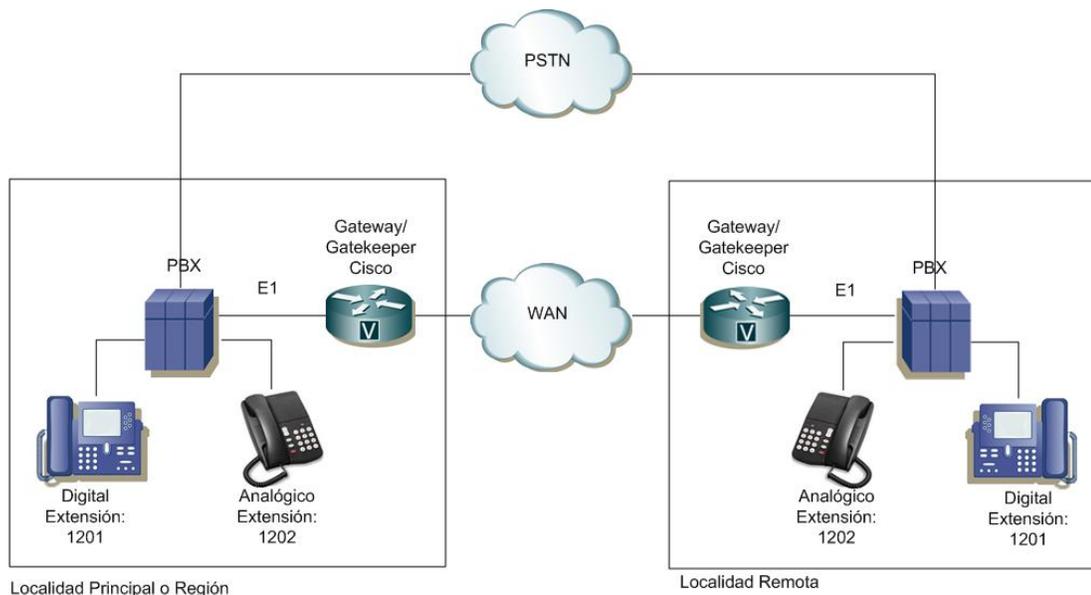


Figura N° 21: Modelo de implementación de VoIP en localidades con PBX. Fuente: El Autor.

2.- En las localidades donde no hay PBX se distribuyeron a través de la red (en aparatos telefónicos conectados a interfaces FXS en los routers) extensiones de la PBX instalada en la localidad principal o región de la cual dependen. Es decir, en el caso de Santa Elena de Uairén, por ejemplo, que no dispone de PBX, se configuró en el router de la localidad extensiones de la PBX de la Región Guayana. Cuando se marca una de estas extensiones la PBX envía el requerimiento al Gateway de la Región y este, a través una consulta al Gatekeeper de la región y por medio de enrutamiento, envía el requerimiento al router de la aduana a través de la red WAN. Cuando un usuario de la aduana desea comunicarse, por ejemplo, a una extensión en la región solo debe marcar los 4 dígitos de la extensión, y en caso de una llamada externa a la PSTN debe marcar el código de acceso 9.

A continuación se muestra un ejemplo de la primera solución:

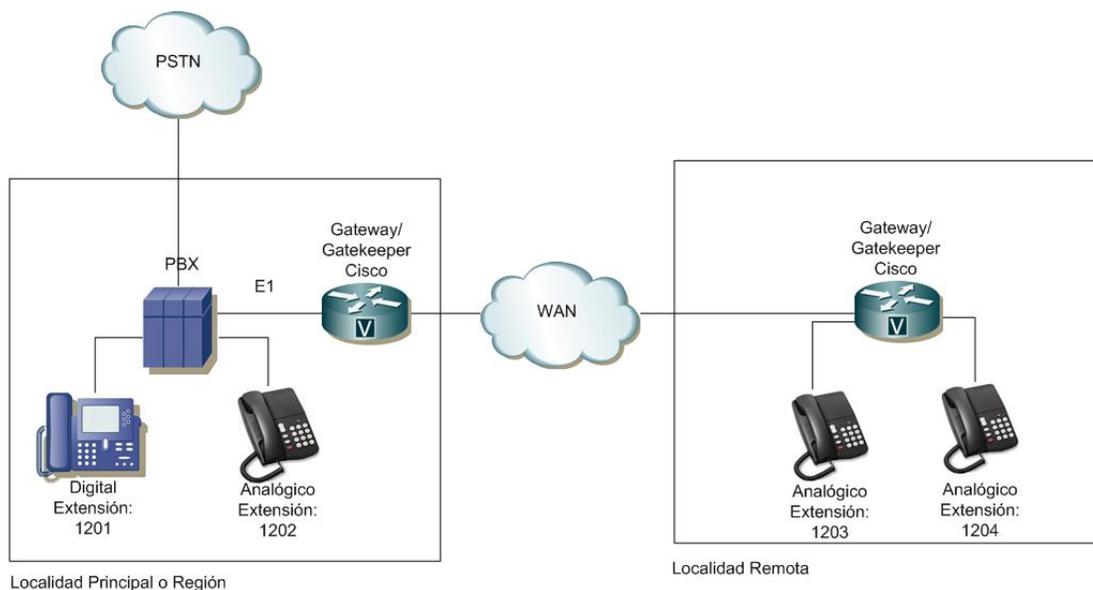


Figura N° 22: Modelo de implementación de VoIP en localidades sin PBX. Fuente: El Autor.

Para el establecimiento, manejo y administración de las llamadas de las comunicaciones de voz en la red IP del SENIAT se seleccionó el modelo H.323 para la señalización y control de llamadas. H.323 proporciona una arquitectura distribuida que utiliza los siguientes componentes y servicios para su implementación:

Tabla N° 31: Componentes y servicios del modelo H.323. Fuente: El Autor.

Componente de Control Común	Gatekeeper
Puntos finales (Endpoints)	Gateway, Terminal
Administración y contabilidad de llamadas	Gateway, Gatekeeper
Estado de la Llamada	Gateway, Gatekeeper
Manejo de Direcciones	Gatekeeper
Control de Admisión	Gatekeeper

La selección de este modelo y protocolo para su implementación en la red IP del SENIAT se basó en que es un protocolo maduro, estable y escalable desarrollado por la ITU-T y para el cual existe una gran cantidad de productos y soporte disponibles ampliamente. Adicionalmente es una solución que se adapta a implementaciones en grandes empresas.

En la red del SENIAT los equipos de comunicaciones son usados para llevar a cabo diferentes funciones, por ejemplo, los routers Cisco modelos 3745 y 3725 son usados como Gateways porque conectarán la PBX con la red de datos y como Gatekeepers porque realizarán tareas de enrutamiento y control de admisión de llamadas entre otras funciones.

Los modelos de routers instalados en la red del SENIAT son los siguientes:

Tabla N° 32: Modelos de Routers Instalados en el SENIAT. Fuente: El Autor.

Localidad	Dispositivo	Cantidad
Mata de Coco – Principal	- Router Cisco	4
	7206VXR	1
	- Router Cisco	
Regiones y Localidades Principales	2651XM	
	- Router Cisco 3725	2
	- Router Cisco 3745	7
Otras Localidades	- Router Cisco 1760	88

Los componentes de H.323 implementados en el SENIAT son los siguientes:

Terminales: Los equipos utilizados para proveer comunicaciones de voz en tiempo real con otros equipos son:

Tabla N° 33: Equipos utilizados para proporcionar funcionalidad de Terminales. Fuente: El Autor.

Localidad	Dispositivo	Descripción	Actualización de software requerida para cumplir funciones de Terminal?
Regiones	Router Cisco 3745/3725	Estos equipos son usados para conectar terminales telefónicos directamente en sus interfaces FXS.	No
Otras Localidades	Router Cisco 1760	Estos equipos son usados para conectar terminales telefónicos directamente en sus interfaces FXS en las localidades que no poseen PBX.	No

Gateway: Los dispositivos de la red usados para proveer interoperabilidad entre puntos finales (endpoints) H.323 y puntos finales localizados en la PSTN son los siguientes:

Tabla N° 34: Equipos utilizados para proporcionar funcionalidad de Gateway. Fuente: El Autor.

Localidad	Dispositivo	Descripción	Actualización de software requerida para cumplir funciones de Gateway?
Mata de Coco - Principal	Cisco Access Server 5350	Este dispositivo permite la interconexión a través de enlaces digitales de la PBX de la sede principal de Mata de Coco (Siemens Hipath) con la red de datos del SENIAT.	No
Regiones	Router Cisco 3725/3745	Estos Routers permiten la interoperabilidad de equipos terminales en la red de datos con equipos terminales en la PSTN así como la interconexión a través de enlaces digitales con la PBX de la región correspondiente (Siemens Hipath).	No
Otras Localidades	Router Cisco 1760	Estos Routers permiten la interoperabilidad de equipos terminales conectados a routers en la red de datos con equipos terminales en la PSTN o PBX a través de la red.	No

Los gateways de voz tienen dispositivos especializados de hardware y software llamados Procesadores de Señal Digital (Digital Signal Processors: DSP) que realizan las funciones de codec y de compresión. Como se especificó anteriormente, un codec

es un método particular de transformar la voz analógica en cadenas de bits digitales (y viceversa) y también se refiere al tipo de compresión usada. Los diferentes codecs usan diferentes algoritmos para codificar la voz analógica en cadenas de bits digitales y adicionalmente tienen diferentes tasas de bits, tamaños de frames y retardos de codificación. Los codecs también difieren en la calidad de la voz percibida que consiguen.

La complejidad del codec (codec complexity) se refiere a la cantidad de poder de procesamiento que una técnica de compresión de codec requiere: algunos requieren más poder de procesamiento que otros. La complejidad del codec afecta la densidad de llamadas, el cual es el número de llamadas que pueden tener lugar en la interface DSP. Entre mayor sea la complejidad del codec, menor es la cantidad de llamadas que se pueden manejar.

La complejidad del codec puede ser media o alta. La diferencia entre los codecs de complejidad media y alta es la cantidad de poder de CPU necesario para procesar el algoritmo y, por lo tanto, el número de canales de voz que pueden ser soportadas por un solo DSP. Todos los codecs de complejidad media también se pueden ejecutar en modo de complejidad alta, pero menos canales estarán disponibles por DSP.

Los diferentes codecs disponibles y su complejidad se describen en la siguiente tabla:

Tabla N° 35: Complejidad de codecs. Fuente: www.cisco.com

Complejidad	Codecs
Alta	<p>Cada DSP soporta dos canales de voz codificados en cualquiera de los siguientes formatos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • g711alaw—G.711 A-law 64,000 bps. • g711ulaw—G.711 U-law 64,000 bps. • g723ar53—G.723.1 Annex A 5300 bps. • g723ar63—G.723.1 Annex A 6300 bps. • g723r53—G.723.1 5300 bps. • g723r63—G.723.1 6300 bps. • g723r16—G.726 16,000 bps. • g726r24—G.726 24,000 bps. • g726r32—G.726 32,000 bps. • g728—G.728 16,000 bps. • g729r8—G.729 8000 bps. (default) • g729br8—G.729 Annex B 8000 bps.
Media	<p>Cada DSP soporta cuatro canales de voz codificados en cualquiera de los siguientes formatos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • g711alaw—G.711 a-Law 64,000 bps. • g711ulaw—G.711 u-Law 64,000 bps. • g726r16—G.726 16,000 bps. • g726r24—G.726 24,000 bps. • g726r32—G.726 32,000 bps. • g729r8—G.729 Annex A 8000 bps. • G729br8—G.729 Annex B with Annex A 8000 bps.

La cantidad de llamadas simultáneas que pueden soportar los gateways de voz Cisco utilizados en la solución de VoIP del SENIAT es:

Tabla N° 36: Cantidad máxima de llamadas soportada por gateways de voz. Fuente: El Autor.

Modelo	Cantidad de Llamadas
AS5350	120 Llamadas digitales con 4 puertos E1.
3745	48 Llamadas analógicas con Interfaces FXS/540 Llamadas digitales con 18 Puertos E1.
3725	24 Llamadas analógicas con Interfaces FXS/300 Llamadas digitales con 10 Puertos E1.
1760	12 Llamadas analógicas con interfaces FXS/30 Llamadas digitales con un 1 Puerto E1.

Gatekeeper: Los dispositivos utilizados para el control de llamadas y servicios para los puntos finales H.323 son los siguientes:

Tabla N° 37: Equipos utilizados para proporcionar funcionalidad de Gatekeeper. Fuente: El Autor.

Localidad	Dispositivo	Actualización de software requerida
Mata de Coco – Principal	- Router Cisco 2651XM	No
Regiones y Localidades Principales	- Router Cisco 3725	Si
	- Router Cisco 3745	Si

Estos dispositivos se encargarán de realizar tareas tales como traducción de direcciones, control de admisión, control de ancho de banda, administración de zonas, etc. En los modelos de equipo 3745 y 3725 fue necesaria la actualización de su sistema operativo (IOS: Internetwork Operating System) para que pudieran soportar la capacidad de Gatekeeper.

Tabla N° 38: Actualización de IOS de Routers para soportar características de Gatekeeper. Fuente: El Autor.

Equipo	Versión IOS Anterior	Nueva Versión IOS
3725	12.2(13)T3:c3725-is-mz.122-13.T3.bin	12.3(15a):3725-ix-mz.123-15a.bin
3745	12.2(13)T3:c3745-is-mz.122-13.T3.bin	12.3(15a):c3745-jsx-mz.123-15a.bin

Los equipos con funcionalidad de gatekeeper se encuentran distribuidos de la siguiente forma:

Tabla N° 39: Distribución de equipos por localidad. Fuente: El Autor.

Localidad	Nombre Router	Router
Mata de Coco	NoMaco	Router Cisco 2651XM
Región Zuliana	ReZuli	Router Cisco 3745
Región Centro Occidental	ReCeOc	Router Cisco 3745
Región Los Llanos	ReLlan	Router Cisco 3745
Región Insular	ReInsu	Router Cisco 3725
Región Nor-Oriental	ReNoOr	Router Cisco 3745
Región Los Andes	ReAndi	Router Cisco 3745
Región Central	ReCent	Router Cisco 3745
Región Guayana	ReGuay	Router Cisco 3745
Zona Falcón	ApPied	Router Cisco 3725

En las localidades donde no existan gatekeepers se utilizará el router de la región o localidad principal del que dependan topológicamente para el enrutamiento y otras funciones.

Los equipos utilizados como gateways y gatekeepers son los dispositivos instalados previamente para establecer la conectividad IP entre las diferentes regiones y localidades del SENIAT con la sede principal por lo que la solución propuesta se apoya en los equipos ya instalados para alcanzar de forma optima los resultados esperados con la menor inversión posible sin necesidad de invertir en hardware adicional para que cumplan estas funciones.

IV.5.1. Configuración e interconexión de componentes de VoIP

La configuración de los dispositivos que intervienen en esta solución se describe a continuación:

Configuración de Gatekeepers

Para la configuración de los Gatekeeper se definieron zonas que identifican el alcance o autoridad que tiene cada Gatekeeper sobre los puntos finales. Las zonas definidas y la relación uno-a-uno entre una zona y un Gatekeeper se muestran en el siguiente diagrama:

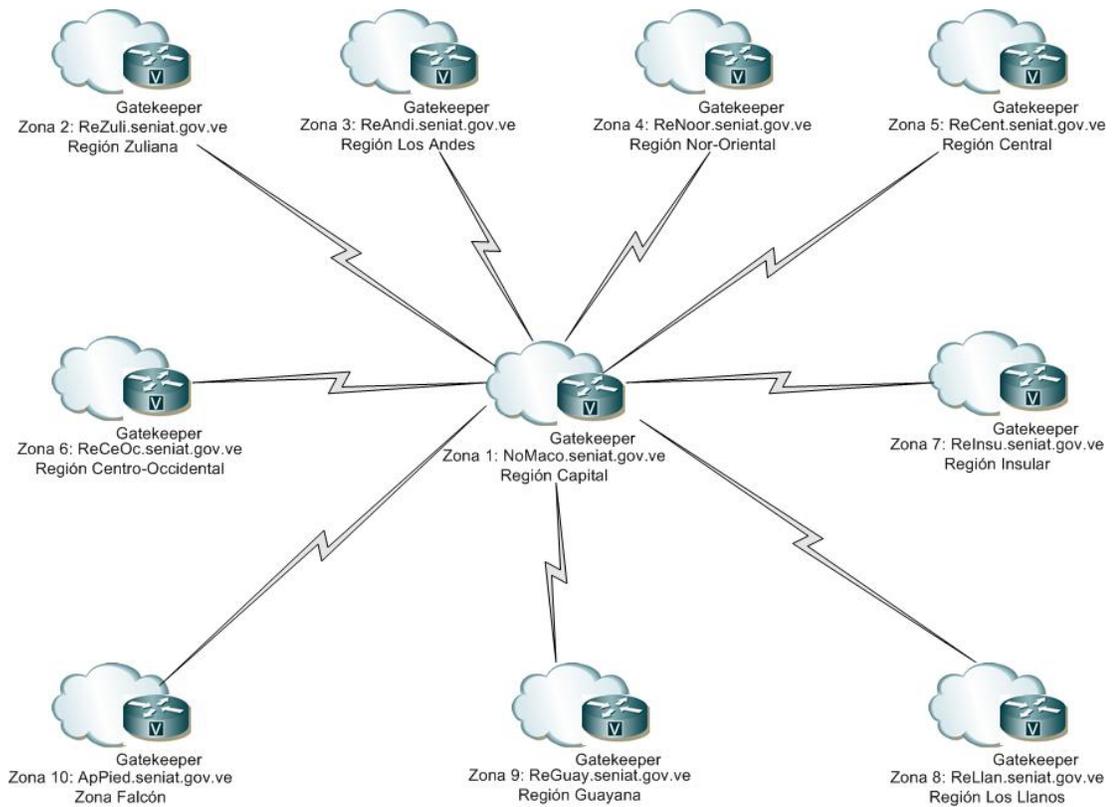


Figura N° 23: Diagrama de Zonas H.323 en la red del SENIAT. Fuente: El Autor.

De acuerdo al diagrama anterior, todos los gateways de una región específica se registrarán en el Gatekeeper de su zona, ejemplo, el gateway (1760) de la Aduana Aérea de Valencia se registrará en la Zona 5 (ReCent.seniat.gov.ve) la cual es administrada por el router 3745 de la región.

La configuración del gatekeeper principal en Mata de Coco es la siguiente:

gatekeeper

- zone local NoMaco.seniat.gov.ve seniat.gov.ve**
- zone remote ReAndi.seniat.gov.ve seniat.gov.ve *IP_Gatekeeper_ReAndi* 1719**
- zone remote ReZuli.seniat.gov.ve seniat.gov.ve *IP_Gatekeeper_ReZuli* 1719**
- zone remote ReCeoc.seniat.gov.ve seniat.gov.ve *IP_Gatekeeper_ReCeoc* 1719**
- zone remote ReLlan.seniat.gov.ve seniat.gov.ve *IP_Gatekeeper_ReLlan* 1719**
- zone remote ReInsu.seniat.gov.ve seniat.gov.ve *IP_Gatekeeper_ReInsu* 1719**
- zone remote ReNoor.seniat.gov.ve seniat.gov.ve *IP_Gatekeeper_ReNoor* 1719**
- zone remote ReCent.seniat.gov.ve seniat.gov.ve *IP_Gatekeeper_ReCent* 1719**
- zone remote ReGuay.seniat.gov.ve seniat.gov.ve *IP_Gatekeeper_ReGuay* 1719**
- zone remote ApPied.seniat.gov.ve seniat.gov.ve *IP_Gatekeeper_ApPied* 1719**
- zone prefix ReLlan.seniat.gov.ve 0235.....**
- zone prefix ReLlan.seniat.gov.ve 0238.....**
- zone prefix ReAndi.seniat.gov.ve 0240.....**
- zone prefix ReCent.seniat.gov.ve 0241.....**
- zone prefix ReCent.seniat.gov.ve 0242.....**
- zone prefix ReCent.seniat.gov.ve 0243.....**
- zone prefix ReCent.seniat.gov.ve 0244.....**
- zone prefix ReCent.seniat.gov.ve 0245.....**
- zone prefix ReCent.seniat.gov.ve 0246.....**
- zone prefix ReAndi.seniat.gov.ve 0247.....**
- zone prefix ReGuay.seniat.gov.ve 0248.....**
- zone prefix ReCent.seniat.gov.ve 0249.....**
- zone prefix ReCeoc.seniat.gov.ve 0251.....**
- zone prefix ReCeoc.seniat.gov.ve 0252.....**
- zone prefix ReCeoc.seniat.gov.ve 0253.....**
- zone prefix ReCeoc.seniat.gov.ve 0254.....**
- zone prefix ReCeoc.seniat.gov.ve 0255.....**
- zone prefix ReCeoc.seniat.gov.ve 0256.....**

zone prefix ReCeoc.seniat.gov.ve 0257.....
zone prefix ReCent.seniat.gov.ve 0258.....
zone prefix ApPied.seniat.gov.ve 0259.....
zone prefix ReZuli.seniat.gov.ve 0260.....
zone prefix ReZuli.seniat.gov.ve 0261.....
zone prefix ReZuli.seniat.gov.ve 0262.....
zone prefix ReZuli.seniat.gov.ve 0263.....
zone prefix ReZuli.seniat.gov.ve 0264.....
zone prefix ReZuli.seniat.gov.ve 0265.....
zone prefix ReZuli.seniat.gov.ve 0266.....
zone prefix ReZuli.seniat.gov.ve 0267.....
zone prefix ApPied.seniat.gov.ve 0268.....
zone prefix ApPied.seniat.gov.ve 0269.....
zone prefix ReAndi.seniat.gov.ve 0270.....
zone prefix ReAndi.seniat.gov.ve 0271.....
zone prefix ReAndi.seniat.gov.ve 0272.....
zone prefix ReAndi.seniat.gov.ve 0273.....
zone prefix ReAndi.seniat.gov.ve 0274.....
zone prefix ReAndi.seniat.gov.ve 0275.....
zone prefix ReAndi.seniat.gov.ve 0276.....
zone prefix ReAndi.seniat.gov.ve 0277.....
zone prefix ReAndi.seniat.gov.ve 0278.....
zone prefix ApPied.seniat.gov.ve 0279.....
zone prefix ReNoor.seniat.gov.ve 0281.....
zone prefix ReNoor.seniat.gov.ve 0282.....
zone prefix ReNoor.seniat.gov.ve 0283.....
zone prefix ReGuay.seniat.gov.ve 0284.....
zone prefix ReGuay.seniat.gov.ve 0285.....
zone prefix ReGuay.seniat.gov.ve 0286.....

```

zone prefix ReGuay.seniat.gov.ve 0287.....
zone prefix ReGuay.seniat.gov.ve 0288.....
zone prefix ReGuay.seniat.gov.ve 0289.....
zone prefix ReNoor.seniat.gov.ve 0291.....
zone prefix ReNoor.seniat.gov.ve 0292.....
zone prefix ReNoor.seniat.gov.ve 0293.....
zone prefix ReNoor.seniat.gov.ve 0294.....
zone prefix ReInsu.seniat.gov.ve 0295.....
zone prefix ReGuay.seniat.gov.ve 0296.....
gw-type-prefix 1#* default-technology
no shutdown
end

```

La aplicación de Gatekeeper en el router se habilita con el comando **Gatekeeper**. El comando **zone local** define el identificador del gatekeeper local y el comando **zone remote** define la identidad y dirección IP de un gatekeeper remoto. Una zona es la colección de todos los terminales y gateways manejados por un solo gatekeeper. Una zona puede tener solo un gatekeeper. Por otro lado el comando **zone prefix** define la parte del número llamado que identifica la zona a la cual una llamada debe terminar. Los prefijos de zona son usualmente usados para asociar un código de área a una zona configurada.

El comando **gw-type-prefix 1#* default-technology** permite identificar diferentes tipos o clases de gateways. Los gateways son configurados para registrarse con el gatekeeper con estos prefijos. Por ejemplo, los gateways de voz se registran con tech-prefix 1# y los gateways de mensajes de voz con 3#. En este caso el gateway de cada región o localidad principal se debe registrar con el tech-prefix 1# en el gatekeeper de la región (que generalmente se trata del mismo router) para indicar al mismo que es

un gateway de voz. Adicionalmente es utilizado para enrutar llamadas a números que no se encuentran registrados en el gatekeeper.

Por otro lado, en los gatekeeper de las regiones o localidades diferentes a Mata de Coco, se utiliza el comando **bandwidth total zone** para proveer control de admisión que aplica una política al número de llamadas entre zonas. Este comando es utilizado para evitar problemas con la calidad de la voz cuando la cantidad de tráfico de voz excede el ancho de banda configurado en la cola de prioridad. Por ejemplo, si en una cola de prioridad LLQ se reserva el ancho de banda equivalente a 2 llamadas telefónicas (24,36 Kbps en el caso del SENIAT) y se permite una tercera llamada, las tres llamadas se degradarán. La configuración de ancho de banda total en cada gatekeeper se muestra a continuación:

Región Los Andes: **bandwidth total zone ReAndi.seniat.gov.ve 86**

Región Zuliana: **bandwidth total zone ReZuli.seniat.gov.ve 61**

Región Centro Occidental: **bandwidth total zone ReCeoc.seniat.gov.ve 74**

Región Los Llanos: **bandwidth total zone ReLlan.seniat.gov.ve 49**

Región Insular: **bandwidth total zone ReInsu.seniat.gov.ve 49**

Región Nor-Oriental: **bandwidth total zone ReNoor.seniat.gov.ve 74**

Región Central: **bandwidth total zone ReCent.seniat.gov.ve 61**

Región Guayana: **bandwidth total zone ReGuay.seniat.gov.ve 61**

Zona Falcón: **bandwidth total zone ApPied.seniat.gov.ve 25**

La tarificación y las restricciones de llamadas (Ejemplo bloqueo de números 900 y celulares) se realizará en las PBXs.

Configuración de Gateways

La configuración de los gateways depende del modelo del router y la función que llevará a cabo (conexión con PBX, conexión de terminales telefónicos a través de interfaces FXS, entre otros). Por razones de seguridad, la información de direccionamiento IP, nombre de comunidad SNMP y tablas de enrutamiento fue suprimida de la configuración. Otra información no relevante como interfaces no utilizadas también fue suprimida. A continuación se describe la configuración de los Gateways de Voz que se conectarán con las PBX:

```
controller E1 3/0
```

```
  pri-group timeslots 1-31
```

```
controller E1 3/1
```

```
controller E1 3/2
```

```
controller E1 3/3
```

```
interface FastEthernet0/0
```

```
  ip address dirección_ip mascara_de_red
```

```
  h323-gateway voip interface
```

```
  h323-gateway voip id NoMaco.seniat.gov.ve ipaddr Dirección_IP_Gatekeeper 1719
```

```
  h323-gateway voip h323-id NoMacoGwPBX@seniat.gov.ve
```

```
  h323-gateway voip tech-prefix 1#
```

```
interface Serial3/1:15
```

```
  no ip address
```

```
  isdn switch-type primary-qsig
```

```
  isdn protocol-emulate user
```

```
  isdn incoming-voice modem
```

voice-port 3/0:D

dial-peer voice 10 voip
destination-pattern .T
session target ras
ip qos dscp ef media
ip qos dscp cs3 signaling

dial-peer voice 20 pots
destination-pattern .T
direct-inward-dial
port 3/0:D
forward-digits all

gateway
end

La descripción de los comandos aplicados y su función se describen a continuación:

Tabla N° 40: Comandos usados para conectar un gateway con una PBX usando señalización QSIG.

Fuente: El Autor.

Comando	Descripción
controller E1 <i>número de la controladora</i>	Permite ingresar en el modo de configuración de las interfaces E1.
pri-group timeslots <i>rango_de_timeslots</i>	Configura el grupo PRI para la interfaz E1 para transportar tráfico de voz. Para las interfaces E1 los time slots disponibles son de 1 a 31.

h323-gateway voip interface	Le indica al router que la interfaz debe ser habilitada para procesamiento de paquetes H.323.
h323-gateway voip id	Especifica el identificador (ID) del gatekeeper.
h323-gateway voip h323-id	Configura el ID del Router. Cuando el router se registra con el gatekeeper, el gatekeeper reconoce el gateway mediante este ID.
h323-gateway voip tech-prefix 1#	Registra un prefijo de tecnología. Indica al gatekeeper que el router es un gateway de voz con conexión a la PSTN.
interface Serial <i>contoladora_EI</i> <i>número_de_canal</i>	Permite ingresar en el modo de configuración para la interface ISDN PRI, ejemplo: interface Serial3/1:15.
isdn switch-type primary-qsig	Configura el tipo de switch ISDN para soportar señalización QSIG.
isdn protocol-emulate {user network}	<p>Configura la interfaz ISDN para funcionar como esclavo (Slave) QSIG primario o como maestro (Master) QSIG primario. La configuración es:</p> <ul style="list-style-type: none"> - User: Slave - Network: Master <p>Esta opción depende de la configuración de la PBX. Si la PBX está configurada como maestro QSIG primario la interfaz</p>

	se debe configurar como esclavo QSIG primario y viceversa.
isdn incoming-voice modem	Enruta las llamadas de voz entrantes al MODEM y las trata como data analógica.
dial-peer voice <i>número</i> voip	Permite ingresar en modo de configuración de igual de conexión telefónica (dial-peer). El argumento número es uno o más dígitos que identifican el dial-peer. Las entradas válidas son de 1 a 2147483647. La palabra clave voip indica que es un igual de conexión telefónica usando encapsulación de voz en una red IP.
destination-pattern <i>cadena [T]</i>	Configura el patrón de destino para que el sistema pueda reconciliar los dígitos marcados con un número telefónico. El argumento cadena es una serie de dígitos que identifica un número telefónico o un rango de números telefónicos. Los caracteres .T indican que es una cadena de caracteres de longitud variable. El punto (.) corresponde a cualquier caracter. El caracter de tiempo T especifica que el router recibe dígitos hasta que el tiempo entre dígitos expira (10 segundos por defecto) o hasta que se marque un caracter de terminación (por defecto el caracter #).

session target ras	Permite especificar la dirección IP del router o gateway de destino. La palabra clave ras (Registration, Admission, and Status) significa que un gatekeeper debe ser consultado para identificar la dirección IP del gateway de destino. En este caso el gateway utiliza multicast (Multidifusión: envío de información a múltiples destinos simultáneamente) para descubrir la dirección del gatekeeper. También se puede especificar directamente la dirección IP del gatekeeper con el argumento <code>ipv4:dirección_IP_Gatekeeper</code> . Ejemplo: <code>session target ipv4:192.168.0.1</code> .
ip qos dscp ef media	Establece el valor DSCP EF (Express Forwarding) al tráfico de voz.
ip qos dscp cs3 signaling	Establece el valor DSCP CS3 (Class Select 3) al tráfico de señalización de voz
dial-peer voice <i>número</i> pots	Permite ingresar en modo de configuración de igual de conexión telefónica (dial-peer) local. El argumento número es uno o más dígitos que identifican el dial-peer. Las entradas válidas son de 1 a 2147483647. La palabra clave pots indica que se está usando un servicio telefónico básico.
direct-inward-dial	Permite acceder directamente a otras

	extensiones en una PBX sin tener que pasar por un operador.
port 3/0:D	Mapea el igual de conexión telefónica con el Puerto físico de voz. En este caso el Puerto usado para conectar a la PBX.
forward-digits all	Especifica que todos los dígitos que llegan deben ser transferidos a la interfaz telefónica.
gateway	Habilita las funciones de gateway en el router.

El resto de los comandos que no aparecen en la tabla son creados automáticamente por el router a medida que se va estableciendo la configuración con los comandos especificados en la tabla anterior.

Un ejemplo de la configuración de los gateways que tienen aparatos telefónicos conectados a interfaces FXS (Ejemplo: En localidades remotas sin PBX) es la siguiente:

```
interface FastEthernet0/0
ip address dirección_ip mascara_de_red
h323-gateway voip interface
h323-gateway voip id AsEUai.seniat.gov.ve ipaddr Dirección_IP_Gatekeeper 1719
h323-gateway voip h323-id AsEUai@seniat.gov.ve
```

```
voice-port 1/0
```

```
voice-port 1/1
```

```
dial-peer voice 10 voip
destination-pattern .T
session target ras
ip qos dscp ef media
ip qos dscp cs3 signaling
```

```
dial-peer voice 20 pots
destination-pattern número_de_la_extensión_telefónica
port 1/0
```

```
dial-peer voice 30 pots
destination-pattern número_de_la_extensión_telefónica
port 1/1
gateway
```

En caso de que el gateway cuente con una tarjeta FXO conectada directamente a una línea telefónica en la PSTN, esta se puede utilizar como respaldo en caso de que el enlace WAN no esté disponible o no se pueda establecer la llamada por falta de recursos (Ejemplo: ancho de banda). La configuración es la siguiente:

```
interface FastEthernet0/0
ip address dirección_ip mascara_de_red
h323-gateway voip interface
h323-gateway voip id AsEUai.seniat.gov.ve ipaddr Dirección_IP_Gatekeeper 1719
h323-gateway voip h323-id AsEUai@seniat.gov.ve
```

```
voice-port 1/0
voice-port 1/1
voice-port 2/0
```

```
dial-peer voice 10 voip
destination-pattern .T
session target ras
ip qos dscp ef media
ip qos dscp cs3 signaling
preference 0
```

```
dial-peer voice 40 pots
destination-pattern .T
port 2/0
preference 1
forward-digits all
```

```
dial-peer voice 20 pots
destination-pattern número_de_la_extensión_telefónica
port 1/0
```

```
dial-peer voice 30 pots
destination-pattern número_de_la_extensión_telefónica
port 1/1
gateway
```

En este caso se debe crear un dial-peer por cada puerto FXO conectado a la PSTN que se desee usar con el mismo destination-pattern que el dial-peer de voip (.T en este caso) y utilizar el comando **preference** para establecer una prioridad a los dial-peer. El destino con el menor valor tiene mayor prioridad. En este ejemplo, el dial-peer de voip 10 tiene mayor prioridad que el dial-peer pots 40 por lo que la primera opción para establecer una comunicación será la red WAN y en caso de que esta no esté disponible se utilizará como segunda opción la PSTN.

Los comandos usados en esta configuración ya fueron explicados anteriormente, sin embargo, en este caso el comando destination-pattern en los dial-peer pots especifica un número de extensión telefónico válido en una PBX. Es decir, los aparatos telefónicos conectados a los puertos FXS (voice-port 1/0 y voice-port 1/1 en este caso) funcionarán como extensiones de la PBX en la región principal de la cual depende la localidad donde se encuentra instalado el router lo que permitirá comunicarse con otras extensiones conectadas directamente a la PBX además de realizar y recibir llamadas de la PSTN.

Pruebas y puesta a punto de la solución

Se realizaron una serie de pruebas para verificar que la implementación de voz sobre IP en la red estuviera operando satisfactoriamente. Entre las pruebas realizadas se encuentran una serie de llamadas entre terminales telefónicos en la red de datos y otros terminales conectados a PBXs o en la PSTN. Las llamadas de pruebas realizadas fueron las siguientes:

Tabla N° 41: Pruebas de conectividad telefónica. Fuente: El Autor.

Origen	Destino
Terminal telefónico en puerto FXS	Terminal telefónico en puerto FXS
Terminal telefónico en puerto FXS	Terminal conectado a PBX
Terminal telefónico en puerto FXS	Terminal en la PSTN
Terminal telefónico en puerto FXS	Terminal en red Celular
Terminal conectado a PBX	Terminal telefónico en puerto FXS
Terminal en la PSTN	Terminal telefónico en puerto FXS
Terminal en red Celular	Terminal telefónico en puerto FXS

Estas pruebas permitieron ajustar la configuración (enrutamiento, calidad de servicio, señalización, etc.) en los equipos de comunicaciones para obtener los resultados deseados.

Adicionalmente se usó una serie de comandos para verificar y depurar la configuración de los gateways de voz y gatekeepers:

Tabla N° 42: Comandos para verificar y depurar la configuración de equipos de comunicaciones.
Fuente: El Autor.

Comando	Descripción
show call active voice	Muestra el status, estadísticas y parámetros para todas las llamadas de voz activas.
show call history voice	Muestra todos los registros del buffer histórico de llamadas.
show gateway	Muestra el estado actual del gateway H.323 configurado en el router.
show gatekeeper calls	Muestra las llamadas activas del cual el gatekeeper es responsable.
show gatekeeper endpoints	Muestra los puntos finales registrados.
show gatekeeper gw-type-prefix	Muestra la tabla actual de prefijos de tecnología.
show gatekeeper status	Muestra el estado actual del gatekeeper.
show gatekeeper zone prefix	Muestra el gateway y sus prefijos asociados.
show gatekeeper zone status	Muestra el estado de las conexiones a gateways en la zona local y el estado de las conexiones a gatekeepers en otras zonas.
show voice port	Muestra el estado de los puertos de voz.
show controller	Muestra el estado de una controladora E1.
debug voip ccapi inout	Muestra el proceso de establecimiento de una llamada.
debug vpm all	Muestra y permite depurar la señalización E1.
debug vtsp all	Muestra los dígitos recibidos y enviados.

De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas realizadas se determinó que la solución propuesta e implantada cumplía con los objetivos del presente trabajo

especial de grado y con los requerimientos del SENIAT en cuanto a comunicación telefónica se refiere. La solución propuesta permitirá incorporar progresivamente la tecnología de Voz sobre IP en la red del SENIAT dando solución a los problemas de comunicación de algunas localidades al mismo tiempo que se disminuyen los costos por llamadas de larga distancia nacional con altos niveles de calidad y disponibilidad.

CONCLUSIONES

Las diferentes etapas de desarrollo del presente proyecto, desde el levantamiento de información hasta la configuración y pruebas de los equipos de comunicaciones, han permitido implementar una tecnología que permite obtener grandes beneficios por la integración eficiente de voz y datos en la misma infraestructura de comunicaciones.

Los beneficios que se obtienen de esta integración son por lo general económicos y de funcionalidad. Entre los beneficios que podemos encontrar se tienen los siguientes: reducción de costos, estructura única de administración de redes, consolidación económica de redes y equipos de acceso, entre otras.

Las ventajas de transmitir el tráfico de voz por un enlace de datos son muy notables ya que permite reducir de manera significativa los costos de las llamadas entre sucursales además de permitir el crecimiento dependiendo de las necesidades de expansión o crecimiento de la empresa con una baja inversión, bajos requerimientos de hardware e integración con la infraestructura existente.

Para lograr la integración de voz y datos es necesaria la aplicación de políticas de calidad de servicio en la red para que se proporcione el tratamiento adecuado a cada tipo de tráfico. Estas políticas permiten ofrecer los niveles de servicio requeridos por el usuario. Adicionalmente permite hacer un uso más eficiente del ancho de banda en la red por lo que se beneficia tanto el tráfico de voz como el tráfico de aplicaciones críticas y de producción de la empresa evitando la continua actualización del ancho de banda de los enlaces de comunicaciones para obtener tiempos de respuesta óptimos.

La interoperabilidad con sistemas tradicionales existentes es otro factor clave para el éxito de una implementación de voz sobre IP. Los equipos disponibles en el mercado habilitados para voz sobre IP, y en particular los equipos Cisco los cuales fueron usados en esta solución, utilizan una gran cantidad de protocolos de comunicaciones y de señalización estándar tales como QSIG ISDN que permiten la integración con equipos de diferentes fabricantes tales como los equipos PBXs de la empresa SIEMENS.

Por otro lado, el ancho de banda requerido por cada llamada telefónica depende de factores tales como el tipo de codec utilizado, los métodos de compresión, entre otros por lo que es necesario realizar un análisis detallado de las diferentes alternativas con el objeto de utilizar el codec y el método de compresión más eficiente en el uso de ancho de banda pero que permita obtener una calidad de voz aceptable. Estos factores se deben evaluar para evitar que las llamadas de voz afecten el tráfico de las aplicaciones críticas de la empresa donde se implementa usando una cantidad de ancho de banda mayor al necesario.

RECOMENDACIONES

La transmisión de voz sobre redes de datos es un hecho en la actualidad y cada día cobra más vigencia. La gran versatilidad que se puede lograr pasando voz y datos por una misma red, junto a los ahorros significativos involucrados, está originando un cambio fundamental en las telecomunicaciones. Después de la ejecución del presente proyecto en la red del SENIAT se hacen las siguientes recomendaciones:

- Implementar Telefonía IP en la red para extender la capacidad y características de los servicios telefónicos a dispositivos y servicios de telefonía de red de paquetes como teléfonos IP, mensajería unificada, conferencias multimedia, sistemas de respuesta interactiva multimedia, entre otros.
- Se recomienda aplicar políticas de calidad de servicio en los switches de la red con el fin de que los paquetes se marquen lo más cerca posible del borde de la red. Esto permitirá que en caso de que se implemente Telefonía IP, el tráfico de los teléfonos IP conectados a los switches recibirá el tratamiento adecuado.
- Realizar la implementación de VoIP para cursar llamadas telefónicas locales entre las sucursales del SENIAT para reducir los costos generados por llamadas locales.
- Incorporar a la red el servicio de transmisión de FAX el cual es soportado por la plataforma actual. La plataforma actual también soporta la recepción de mensajes de FAX en el buzón de correo electrónico utilizando los gateways de voz de Cisco Systems instalados.
- A medida que la implementación de VoIP cobre mayor importancia en el SENIAT, será necesario implementar sistemas redundantes para garantizar la

operatividad del servicio. Por ejemplo, se puede implementar fuentes de poder redundantes en los equipos como respaldo en caso de falla.

- Se recomienda mantener actualizados los dispositivos de red que participan en la infraestructura de VoIP instalada.
- Mantener un monitoreo continuo sobre la infraestructura de VoIP que permitan detectar fallas que afecten la prestación del servicio. Se recomienda usar herramientas especializadas en el monitoreo de equipos, políticas de calidad de servicio y rendimiento de red.
- Aplicar políticas y procesos de seguridad, herramientas y técnicas que permitan proteger el tráfico de voz en la red.

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS

A

- **Ancho de Banda:** Diferencia entre las frecuencias más altas y más bajas disponibles para las señales de red. Asimismo, la capacidad de rendimiento medida de un medio o protocolo de red determinado. También puede ser definido como la máxima cantidad de datos que se pueden transmitir por un medio de comunicaciones en un momento dado, normalmente medido en segundos.
- **ACL: Access Control List.** Lista de Control de Acceso. Es una lista que se utiliza para controlar el acceso en una red.
- **AF: Assured Forwarding.** Define el método por el cual se puede dar diferentes garantías de ancho de banda al tráfico seleccionado en la red.
- **Administración de la Congestión:** Consiste en la aplicación de mecanismos de encolamiento en cada interface en equipos de comunicaciones como routers para dar prioridad a la transmisión de paquetes.
- **A-Law:** Método para codificar digitalmente señales analógicas que es usado ampliamente en los Estados Unidos. Es similar a otro esquema de codificación llamado U-Law pero usa tablas de mapeo de amplitudes haciéndolas incompatibles.

B

- **BRI:** Basic Rate Interface. Interfaz de Acceso Básico. Interfaz RDSI compuesta por dos canales B y un canal D para la comunicación por un circuito conmutado de voz, video y datos.
- **Bit:** Binary Digit o Dígito Binario. Es un dígito en base a 2, es decir, 0 ó 1. Un bit es la unidad más pequeña de información que la computadora es capaz de manejar. El ancho de banda se suele medir en bits por segundo.
- **Bps:** Bits Per Second. Unidad utilizada para medir la velocidad de transferencia de información, usualmente en miles (Kbps).

C

- **Codec:** Codificador-Decodificador. Es una especificación implementada en software, hardware o una combinación de ambos, capaz de transformar una señal o flujo de datos.
- **CAC:** Call Admisión Control. Control de Admisión de Llamadas. Permite limitar el número de llamadas de VoIP permitidas en la red para evitar que una gran cantidad de llamadas afecte todas las llamadas establecidas en un enlace de comunicaciones.
- **CS:** Class Selector. Valor en el campo DSCP usado para preservar la compatibilidad hacia atrás con algún esquema de precedencia IP actualmente en uso en la red.

- CAS: Channel Associated Signalling. Señalización por Canal Asociado. Es un método de señalización en el que cada canal de tráfico tiene un canal de señalización dedicado. En otras palabras, la señalización de un circuito de tráfico particular es asociada permanentemente con ese circuito.
- CCS: Common Channel Signalling. Señalización por Canal Común. Es un método de señalización donde un canal común lleva mensajes de datos los cuales transportan señalización para los circuitos entre dos switches.
- CBWFQ: Class-based Weighted fair queuing. Es un mecanismo de administración de la congestión que extiende la funcionalidad estándar de WFQ para proveer soporte para las clases de tráfico definidas por el usuario.
- Compresión: La compresión consiste en la reducción del volumen de información a tratar (procesar, transmitir o grabar). En principio, con la compresión se pretende transportar la misma información, pero empleando la menor cantidad de espacio.
- Congestión Management: Ver Administración de la Congestión.
- Congestion Avoidance: Ver Prevención de la Congestión.
- Clasificación de Paquetes: Consiste en la identificación y separación del tráfico en diferentes clases.
- CRTP: Compressed Real-Time Transport Protocol. Protocolo de compresión que comprime la cabecera IP/UDP/RTP en un paquete de datos RTP de 40 bytes a aproximadamente 2 a 5 bytes.

- CO: Central Office. Oficina Central.

D

- DID: Direct Inward Dial. Es un servicio ofrecido por compañías telefónicas que permite llamar directamente a una extensión en una PBX sin la asistencia de un operador.
- DSCP: Differentiated Services Code Point. Son los seis bits más significativos del campo DiffServ.
- Dial-Peer: Igual de Conexión telefónica. Es un punto final de una llamada direccionable. Esta dirección es llamada patrón de destino (destination pattern) y es configurada en cada dial peer. El patrón de destino puede apuntar solo a un número telefónico o a un rango de números telefónicos usando números explícitos o comodines variables para definir un número telefónico o un rango de números.
- DiffServ: Differentiated Services. Servicios Diferenciados. Es un nuevo modelo en el cual el tráfico es tratado por sistemas intermediarios con relativa prioridad basado en el campo tipo de servicio (ToS) del paquete IP.
- DSP: Digital Signal Processor. Procesador de Señal Digital. Dispositivos de hardware y software que realizan las funciones de codec y de compresión.
- Datagramas: Usualmente se refiere a la división de la información en unidades de menor tamaño para que el protocolo TCP/IP las pueda transmitir. Esto

proporciona grandes ventajas en el manejo de los datos que se transfieren y, por otro lado, esto es algo común en cualquier protocolo de comunicaciones. Estos datos en conjunto se envían como mensajes independientes.

- Dirección IP: Es la dirección única de cada máquina, formada por números separados por puntos. Por ejemplo, 128.253.153.54.

E

- Erlang: Un erlang es la cantidad de tráfico que un troncal puede manejar en una hora. El tráfico de 1 erlang por un circuito significa una ocupación continua del mismo.
- E&M: Ear and Mouth. Proveen señalización para enlaces analógicos. Los circuitos troncales analógicos conectan sistemas automatizados (PBXs) y redes (COs).
- E1: Formato Europeo de transmisión Digital. El formato E1 transmite datos a una tasa de 2.048 millones de bits por segundo y puede llevar 32 canales de 64 Kbps cada uno, de los cuales treinta son canales activos simultáneos para voz y datos. Los otros dos canales son usados para framing y señalización.
- Enrutamiento: Es el mecanismo por el que en una red los paquetes de información se hacen llegar desde su origen a su destino final, siguiendo un camino o ruta a través de la red.

- EF: Expedited Forwarding. Define el método por el cual se proporciona un servicio de ancho de banda garantizado, baja pérdida, bajo retardo y baja variación del retardo para servicios tales como la voz y el video.
- Encapsulación: Es la habilidad de una parte de un programa para ocultar sus datos al resto del código, impidiendo así accesos incorrectos o conflictos con los nombres de otras variables.

F

- FXS: Foreign Exchange Station. Tarjetas con interfaces que permiten conectar teléfonos analógicos normales, equipos de Fax o dispositivos similares.
- FXO: Foreign Exchange Office. La interfaz FXO permite una conexión analógica directamente con una CO de la PSTN o a una interfaz de estación en una PBX.
- FRF: Frame Relay Forum. Es una asociación de vendedores, carriers, usuarios y comités de consulta para la educación, promoción e implementación de Frame Relay de acuerdo a estándares internacionales.
- FIFO: First In, First Out. Primero en Entrar, Primero en Salir. Es el algoritmo de encolamiento más simple. Los paquetes son colocados en una sola cola y servidor en el orden en que son recibidos.

- Fibra Óptica: Conductor de impulsos luminosos digitales de muy alta velocidad y confiabilidad, que tiene muchas ventajas sobre el cableado tradicional de cobre.
- Frames: Tramas. Estructura utilizada para encapsular los paquetes IP.
- Fragmentación e Intercalado de Enlace: Link Fragmentation and Interleaving. Son técnicas de calidad de servicio que permiten reducir el retardo y la variación del retardo en enlaces de baja velocidad dividiendo grandes datagramas e intercalando paquetes de tráfico de bajo retardo con los pequeños paquetes resultantes.
- FTP: File Transfer Protocol. Método utilizado para transferir múltiples archivos entre dos sitios de Internet. Existen muchos sitios que permiten a los usuarios ingresar libremente a sus máquinas para obtener programas shareware u otro tipo de información.

G

- Gateway: Pasarela, puerta de acceso. Dispositivo que permite conectar entre si dos redes normalmente de distinto protocolo o un host a una red.
- Gatekeeper: Un gatekeeper es una entidad H.323 que provee traducción de direcciones y control de acceso en la LAN para terminales H.323 y gateways. El gatekeeper puede proveer otros servicios a terminales H.323 y gateways, tales como administración de ancho de banda. Un gatekeeper mantiene un registro de dispositivos en la red multimedia.

- Gbps: Gigabits por segundo. Velocidad de transmisión de mil millones de bits por segundo.

H

- H.323: Es una recomendación del ITU-T (International Telecommunication Union), que define los protocolos para proveer sesiones de comunicación multimedia en una red de paquetes con QoS no garantizado como es el caso de las redes IP.
- Hardware: Parte tangible de los equipos de computación. Todos los componentes tales como periféricos, CPUs, etc.
- Host: En redes de computadoras y telecomunicaciones, es un servidor que realiza funciones centralizadas, como poner al alcance de las demás computadoras los programas y los archivos de datos disponibles.
- HTTP: Hyper Text Transfer Protocol. Servicio orientado a conexión que ofrece la posibilidad de observar documentos de Hyper Texto o Texto Enriquecido (Hyper Text Markup Language, HTML) ubicados en un servidor remoto.

I

- ISDN: Red Digital de Servicios Integrados. Protocolo de Comunicaciones que ofrecen las compañías telefónicas y que permite que las redes telefónicas transmitan datos, voz y tráfico de otros orígenes.

- IOS: Internetwork Operating System. Sistema Operativo de Internetwork. Software de Sistema de Cisco que proporciona funcionalidad, escalabilidad y seguridad comunes a todos los productos bajo la arquitectura de Cisco. El software Cisco IOS permite la instalación y administración centralizada, integrada y automatizada de la internetwork, garantizando al mismo tiempo la compatibilidad con una amplia variedad de protocolos, medios, servicios y plataformas.
- IP Precedence: Ver Precedencia IP.
- ICMP: Internet Control Messaging Protocol: Protocolo considerado a nivel de IP, ya que es empleado por éste para notificar mensajes de error o situaciones que requieren cierta atención. Debido a que los paquetes ICMP viajan en paquetes IP es a veces considerado un nivel por encima. Existen numerosos tipos de mensajes que permiten tanto notificar situaciones de error, como realizar peticiones de información. Asimismo, un mensaje ICMP siempre contiene los 8 primeros bytes del paquete IP que dio lugar a su generación, así el sistema receptor al extraerlo de la red sabrá a qué módulo asociárselo: TCP, UDP. Los mensajes ICMP de error más habituales son el tipo 3 que permite especificar que no se puede llegar a una red destino, destination unreachable, que a su vez dispone de múltiples códigos, aplicados a la red, al host, al servicio, etc. Asimismo, ICMP proporciona la funcionalidad de adquirir información mediante pares de paquetes petición / respuesta, por ejemplo, para adquirir la máscara de red de un sistema o preguntar por la hora, mediante el manejo de timestamps. Por último, en numerosas ocasiones se emplea para comprobar la existencia de conectividad, como en la utilidad ping, empleando paquetes ICMP echo y echo reply.

- Intranet: Se llaman así a las redes tipo Internet pero que son de uso interno o privado, por ejemplo, la red corporativa de una empresa que utiliza el protocolo TCP/IP y servicios similares como WWW.
- IP: Internet Protocol. Es el protocolo principal de TCP/IP, encargado de la transmisión y enrutamiento de los paquetes de datos al equipo destino. Es un protocolo no fiable, es decir, que no asegura la recepción final en el equipo destinatario de la información. Para el control de los posibles errores dispone de un protocolo de aviso, ICMP. La fiabilidad de la comunicación debe proporcionarla los protocolos superiores, como TCP.
- ISP: Internet Service Provider. Proveedor de Servicios de Internet.

J

- Jitter: Es la variación del retardo entre la llegada esperada de un paquete y cuando es efectivamente recibido.

L

- LLQ: Low Latency Queueing. Colas de Baja Latencia: Permite el uso de una sola cola de prioridad estricta en conjunto con CBWFQ.
- LAN: Local Area Network. Red de Area Local. Red de computadoras ubicadas en El mismo ambiente, piso o edificio.

M

- **Marcado de Paquetes:** Usado para marcar paquetes basado en la clasificación de los mismos.
- **Multicast: Multidifusión.** Es el envío de información en una red a múltiples destinos simultáneamente.
- **MPPP: Multilink Point to Point Protocol.** Es un método de dividir, recombinar y secuenciar datagramas a través de múltiples enlaces de datos lógicos.
- **Mbps: Megabits por segundo.** Unidad de medida de la capacidad de transmisión por una línea de telecomunicación. Cada megabit está formado por 1.048.576 bits.
- **MODEM: (MOdulator, DEModulator).** Codificador y decodificador de señales digitales en señales analógicas susceptibles de trasladarse por una línea de telecomunicaciones. Es un dispositivo que se conecta a la computadora y a la línea telefónica y permite comunicarse con otras computadoras a través del sistema telefónico. Básicamente, los módems sirven a las computadoras de la misma manera que los teléfonos sirven a las personas.

O

- OSI: Open Systems Interconnection. Modelo que estandariza la representación de las redes a través de capas.

P

- Prevención de la Congestión: Mecanismo usado para descartar paquetes de forma anticipada con el fin de evitar la congestión posterior en la red. Los mecanismos de prevención de la congestión monitorean la carga de tráfico de la red en un esfuerzo para anticipar y evitar la congestión.
- Precedencia IP: Es un valor de 3 bits en el byte ToS [Type of Service] usado para asignar precedencia a los paquetes IP.
- Pérdida de Paquetes: Es la pérdida de paquetes a lo largo de la ruta de datos.
- PSTN: Public Switched Telephone Network. Red Pública de Telefonía Conmutada. Es una red con conmutación de circuitos tradicional optimizada para comunicaciones de voz en tiempo real.
- PRI: Primary Rate Interface. Interfaz de Acceso Primario. Interfaz ISDN de acceso principal. El acceso consta de un canal D único de 64 Kbps más 23 canales B (T1) o 30 canales B (E1) para voz o datos.

- **PBX:** Private Branch Exchange. Central Telefónica Privada. Conmutador de teléfonos analógicos o digitales ubicado en las instalaciones del suscriptor y que se usa para conectar redes telefónicas privadas y públicas.
- **PHB:** Per-Hop Behaviors. Se refiere al tratamiento que se le dará a un paquete determinado dependiendo del valor DSCP que se establezca.
- **Paquetes:** Fracciones de un mensaje de tamaño predefinido, donde cada fracción o paquete contiene información de procedencia y de destino, así como información requerida para el reensamblado del mensaje.
- **PPP:** Point-to-Point Protocol. Protocolo Punto-a-Punto. Protocolo que le permite a la computadora usar una línea telefónica y un módem para realizar una conexión TCP/IP y así simular que está realmente dentro de Internet.
- **Protocolo:** Conjunto de reglas que posibilitan la transferencia de datos entre dos o más computadores.
- **Protocolo IP:** Internet Protocol. Es un protocolo connectionless (no intercambia información de control para establecer una conexión nodo a nodo antes de transmitir), se encarga de definir el esquema de direccionamiento de Internet y mueve los datos entre la capa de acceso de red y la capa de transporte host-to-host. No corrige ni detecta errores en la información.
- **Puerto:** Es un número de 16 bits, por lo que existen 65536 puertos en cada computadora. Las aplicaciones utilizan estos puertos para recibir y transmitir mensajes.

Q

- **QSIG:** Sistema de señalización basado en el estándar ISDN Q.931, provee señalización para Centrales Telefónicas de Red Integradas Privadas (PINX: Private Integrated Services Network Exchange).
- **QoS:** Quality of Services. Calidad de Servicio. Medida de desempeño de un sistema de transmisión que refleja su calidad de transmisión y disponibilidad de servicio. La Calidad de Servicio es el conjunto de tecnologías que permiten a las aplicaciones de red solicitar y recibir niveles de servicio en ancho de banda, propagación y variaciones de retardo (jitter).

R

- **RAS:** Registration, Admission and Status. Protocolo de comunicaciones que permite a una estación H.323 localizar a otra estación H.323 a través del Gatekeeper.
- **Retardo:** Delay. Es el tiempo que le toma a un paquete alcanzar el punto de recepción después de ser transmitido desde el punto de envío
- **RED:** Random Early Detection. Es un mecanismo que descarta aleatoriamente los paquetes antes de que la cola se llene.
- **RTP:** Real-Time Transport Protocol. Protocolo de Transporte de Tiempo Real. Es un protocolo de nivel de transporte utilizado para la transmisión de información en tiempo real como por ejemplo audio y video sobre una red IP.

- Red: Se tiene una red cada vez que se conectan dos o más computadoras de manera que pueden compartir recursos.
- Router: Son dispositivos que permiten unir varias redes (más de dos, a diferencia de los bridges), tomando como referencia la dirección de red de cada segmento. Al igual que los bridges, los routers restringen el tráfico local de la red permitiendo el flujo de datos a través de ellos solamente cuando los datos son direccionados con esa intención.

S

- Switch: Dispositivo de interconexión de redes de computadoras que opera en la capa 2 (Nivel de Enlace de Datos) del modelo OSI.
- SS7: Sistema de Señalización N° 7. Es una colección de protocolos usada por los proveedores de servicios de telefonía para soportar la señalización de llamadas fuera de banda y las características avanzadas de llamadas.
- Servidor (Hardware): Equipos centralizadores y de enlaces para la constitución de redes, de diferentes magnitudes, en interacción con PCs, routers, hubs, proxys, etc.
- SMTP: Simple Mail Transfer Protocol. Servicio que permite la transmisión de correo electrónico saliente desde el computador origen hasta el servidor destino.

- SNMP: Simple Network Management Protocol: Protocolo Simple de Manejo de Redes. Estándar de bajo nivel utilizado para el monitoreo de nodos sobre una red.
- Sniffers: Un sniffer suele ser una combinación de hardware y software que captura información que viaja en una red.

T

- T1: Es un circuito digital punto a punto dedicado a 1.544 Mbps provisto por compañías telefónicas.
- Type of Service (ToS): En paquetes de red IP Versión 4, es representado por un campo de 8 bits, (1 Byte) en la cabecera el cual es usado por una variedad de métodos de calidad de servicio, incluyendo Precedencia IP, DSCP.
- Troncal: Trunk. Es una línea de comunicaciones entre dos sistemas de conmutación (Switching).
- TCP/IP: Transmission Control Protocol / Internet Protocol. Es el protocolo de control de transmisión de Internet, protocolo ideado por el Departamento de Defensa de los E.U.A. en 1970. TCP/IP es un conjunto de protocolos diseñados específicamente en una tecnología InterRed; el TCP define el esquema de direccionamiento de Internet, y este esquema es uniforme (es decir, no existen dos direcciones de Internet que sean iguales).
- TCP: Transport Control Protocol. Es el protocolo empleado en la mayoría de los servicios que componen Internet actualmente. Es un protocolo fiable, es

decir, se asegura de que los paquetes de datos lleguen al otro extremo mediante el uso de números de secuencia y de confirmaciones de recepción (ACKs), y es orientado a conexión, es preciso que las dos partes que van a comunicarse conozcan a la otra y establezcan una conexión formal. Asimismo, esta debería terminarse de forma adecuada. Por último se trata de un servicio de stream, ya que las partes intercambian flujos de datos de 8 bits (1 byte), por lo que no existen marcadores en los datos, sólo información.

U

- UDP: User Datagram Protocol: Es un protocolo muy sencillo, no orientado a conexión y no fiable, por lo que son los protocolos de nivel superior los que deben asegurarse de la recepción de los datos. Cada operación de envío genera un único datagrama UDP. Es empleado principalmente en aplicaciones multimedia, para el envío de flujos de información sin un coste de conexión asociado.
- U-Law: Método para codificar digitalmente señales digitales usado principalmente en Estados Unidos.

V

- VoIP: La Voz sobre Protocolo de Internet (Voice over IP). Es la habilidad para transportar voz telefónica normal sobre una red de datos basada en el protocolo de Internet (IP: Internet Protocol), con la misma funcionalidad, confiabilidad y calidad de voz que ofrecen las empresas telefónicas tradicionales.

W

- WFQ: Weighted fair queuing. Es un algoritmo de administración de la congestión que identifica conversaciones (en forma de flujos de tráfico), separa el tráfico que pertenece a cada conversación, y asegura que la capacidad es compartida de forma justa entre estas conversaciones individuales.
- WRED: WRED combina RED con Precedencia IP o DSCP y realiza el descarte de paquetes basado en las marcas de precedencia IP o DSCP.
- WAN: Wide Area Network. Redes de Area Amplia. Es una red de computadoras de gran tamaño, dispersa por un país o incluso por todo el planeta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcatel. (2.003). IP Telephony Design Guide. USA: Autor

Chiavenato, I. (1.997). Administración de Recursos Humanos. México: Mc Graw Hill

Cisco Systems. (2.003). Voice Design and Implementation Guide. USA: Autor.

Cisco Systems (2.003). Cisco IOS Voice, Video, and Fax Configuration Guide. USA: Autor.

Cisco Systems (2.000). Deploying Cisco QoS for Enterprise Networks USA: Cisco Press

Cisco Systems (2.004). Cisco Voice over IP CVOICE v4.2. USA: Autor.

Cisco Systems (2.003). Implementing Cisco Quality of Service. Versión 2.0. USA: Autor.

Davidson, J. (2.000). Voice Over IP Fundamentals. USA: Cisco Press

Huidobro, J. (2.001). Redes y Servicios de Telecomunicaciones. (Tercera Edición). España: Paraninfo.

Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño (1.995) Manual de Trabajo de Grado. Caracas: Autor.

Keagy, S. (2.001). Integración de Redes de Voz y Datos. España: Cisco Press

Méndez, A. (1.993). Metodología. Colombia: Mc Graw Hill.

Mendillo, V. (2003). Seguridad Informática y Comunicaciones. UCV.

Tanenbaum, A. (1.997). Redes de Computadoras (Tercera Edición). México: Prentice Hall.

FUENTES ELECTRÓNICAS

- <http://www.cisco.com>
-
- <http://www.alcatel.com>
- <http://www.siemens.com>
- <http://www.erlang.com>

ANEXOS

Anexo A: Tabla Erlang B

Erlang B Traffic Table												
Maximum Offered Load Versus B and N												
B is in %												
N/B	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0	2	5	10	15	20	30	40
1	.0001	.0005	.0010	.0050	.0101	.0204	.0526	.1111	.1765	.2500	.4286	.6667
2	.0142	.0321	.0458	.1054	.1526	.2235	.3813	.5954	.7962	1.000	1.449	2.000
3	.0868	.1517	.1938	.3490	.4555	.6022	.8994	1.271	1.603	1.930	2.633	3.480
4	.2347	.3624	.4393	.7012	.8694	1.092	1.525	2.045	2.501	2.945	3.891	5.021
5	.4520	.6486	.7621	1.132	1.361	1.657	2.219	2.881	3.454	4.010	5.189	6.596
6	.7282	.9957	1.146	1.622	1.909	2.276	2.960	3.758	4.445	5.109	6.514	8.191
7	1.054	1.392	1.579	2.158	2.501	2.935	3.738	4.666	5.461	6.230	7.856	9.800
8	1.422	1.830	2.051	2.730	3.128	3.627	4.543	5.597	6.498	7.369	9.213	11.42
9	1.826	2.302	2.558	3.333	3.783	4.345	5.370	6.546	7.551	8.522	10.58	13.05
10	2.260	2.803	3.092	3.961	4.461	5.084	6.216	7.511	8.616	9.685	11.95	14.68
11	2.722	3.329	3.651	4.610	5.160	5.842	7.076	8.487	9.691	10.86	13.33	16.31
12	3.207	3.878	4.231	5.279	5.876	6.615	7.950	9.474	10.78	12.04	14.72	17.95
13	3.713	4.447	4.831	5.964	6.607	7.402	8.835	10.47	11.87	13.22	16.11	19.60
14	4.239	5.032	5.446	6.663	7.352	8.200	9.730	11.47	12.97	14.41	17.50	21.24
15	4.781	5.634	6.077	7.376	8.108	9.010	10.63	12.48	14.07	15.61	18.90	22.89
16	5.339	6.250	6.722	8.100	8.875	9.828	11.54	13.50	15.18	16.81	20.30	24.54
17	5.911	6.878	7.378	8.834	9.652	10.66	12.46	14.52	16.29	18.01	21.70	26.19
18	6.496	7.519	8.046	9.578	10.44	11.49	13.39	15.55	17.41	19.22	23.10	27.84
19	7.093	8.170	8.724	10.33	11.23	12.33	14.32	16.58	18.53	20.42	24.51	29.50
20	7.701	8.831	9.412	11.09	12.03	13.18	15.25	17.61	19.65	21.64	25.92	31.15
21	8.319	9.501	10.11	11.86	12.84	14.04	16.19	18.65	20.77	22.85	27.33	32.81
22	8.946	10.18	10.81	12.64	13.65	14.90	17.13	19.69	21.90	24.06	28.74	34.46
23	9.583	10.87	11.52	13.42	14.47	15.76	18.08	20.74	23.03	25.28	30.15	36.12
24	10.23	11.56	12.24	14.20	15.30	16.63	19.03	21.78	24.16	26.50	31.56	37.78
25	10.88	12.26	12.97	15.00	16.13	17.51	19.99	22.83	25.30	27.72	32.97	39.44
26	11.54	12.97	13.70	15.80	16.96	18.38	20.94	23.89	26.43	28.94	34.39	41.10
27	12.21	13.69	14.44	16.60	17.80	19.27	21.90	24.94	27.57	30.16	35.80	42.76
28	12.88	14.41	15.18	17.41	18.64	20.15	22.87	26.00	28.71	31.39	37.21	44.41
29	13.56	15.13	15.93	18.22	19.49	21.04	23.83	27.05	29.85	32.61	38.63	46.07
30	14.25	15.86	16.68	19.03	20.34	21.93	24.80	28.11	31.00	33.84	40.05	47.74
31	14.94	16.60	17.44	19.85	21.19	22.83	25.77	29.17	32.14	35.07	41.46	49.40
32	15.63	17.34	18.21	20.68	22.05	23.73	26.75	30.24	33.28	36.30	42.88	51.06
33	16.34	18.09	18.97	21.51	22.91	24.63	27.72	31.30	34.43	37.52	44.30	52.72
34	17.04	18.84	19.74	22.34	23.77	25.53	28.70	32.37	35.58	38.75	45.72	54.38

35	17.75	19.59	20.52	23.17	24.64	26.44	29.68	33.43	36.72	39.99	47.14	56.04
36	18.47	20.35	21.30	24.01	25.51	27.34	30.66	34.50	37.87	41.22	48.56	57.70
37	19.19	21.11	22.08	24.85	26.38	28.25	31.64	35.57	39.02	42.45	49.98	59.37
38	19.91	21.87	22.86	25.69	27.25	29.17	32.62	36.64	40.17	43.68	51.40	61.03
39	20.64	22.64	23.65	26.53	28.13	30.08	33.61	37.72	41.32	44.91	52.82	62.69
40	21.37	23.41	24.44	27.38	29.01	31.00	34.60	38.79	42.48	46.15	54.24	64.35
41	22.11	24.19	25.24	28.23	29.89	31.92	35.58	39.86	43.63	47.38	55.66	66.02
42	22.85	24.97	26.04	29.09	30.77	32.84	36.57	40.94	44.78	48.62	57.08	67.68
43	23.59	25.75	26.84	29.94	31.66	33.76	37.57	42.01	45.94	49.85	58.50	69.34

44	24.33	26.53	27.64	30.80	32.54	34.68	38.56	43.09	47.09	51.09	59.92	71.01
45	25.08	27.32	28.45	31.66	33.43	35.61	39.55	44.17	48.25	52.32	61.35	72.67
46	25.83	28.11	29.26	32.52	34.32	36.53	40.55	45.24	49.40	53.56	62.77	74.33
47	26.59	28.90	30.07	33.38	35.22	37.46	41.54	46.32	50.56	54.80	64.19	76.00
48	27.34	29.70	30.88	34.25	36.11	38.39	42.54	47.40	51.71	56.03	65.61	77.66
49	28.10	30.49	31.69	35.11	37.00	39.32	43.53	48.48	52.87	57.27	67.04	79.32
50	28.87	31.29	32.51	35.98	37.90	40.26	44.53	49.56	54.03	58.51	68.46	80.99
51	29.63	32.09	33.33	36.85	38.80	41.19	45.53	50.64	55.19	59.75	69.88	82.65
52	30.40	32.90	34.15	37.72	39.70	42.12	46.53	51.73	56.35	60.99	71.31	84.32
53	31.17	33.70	34.98	38.60	40.60	43.06	47.53	52.81	57.50	62.22	72.73	85.98
54	31.94	34.51	35.80	39.47	41.51	44.00	48.54	53.89	58.66	63.46	74.15	87.65
55	32.72	35.32	36.63	40.35	42.41	44.94	49.54	54.98	59.82	64.70	75.58	89.31
56	33.49	36.13	37.46	41.23	43.32	45.88	50.54	56.06	60.98	65.94	77.00	90.97
57	34.27	36.95	38.29	42.11	44.22	46.82	51.55	57.14	62.14	67.18	78.43	92.64
58	35.05	37.76	39.12	42.99	45.13	47.76	52.55	58.23	63.31	68.42	79.85	94.30
59	35.84	38.58	39.96	43.87	46.04	48.70	53.56	59.32	64.47	69.66	81.27	95.97
60	36.62	39.40	40.80	44.76	46.95	49.64	54.57	60.40	65.63	70.90	82.70	97.63
61	37.41	40.22	41.63	45.64	47.86	50.59	55.57	61.49	66.79	72.14	84.12	99.30
62	38.20	41.05	42.47	46.53	48.77	51.53	56.58	62.58	67.95	73.38	85.55	101.0
63	38.99	41.87	43.31	47.42	49.69	52.48	57.59	63.66	69.11	74.63	86.97	102.6
64	39.78	42.70	44.16	48.31	50.60	53.43	58.60	64.75	70.28	75.87	88.40	104.3
65	40.58	43.52	45.00	49.20	51.52	54.38	59.61	65.84	71.44	77.11	89.82	106.0
66	41.38	44.35	45.85	50.09	52.44	55.33	60.62	66.93	72.60	78.35	91.25	107.6
67	42.17	45.18	46.69	50.98	53.35	56.28	61.63	68.02	73.77	79.59	92.67	109.3
68	42.97	46.02	47.54	51.87	54.27	57.23	62.64	69.11	74.93	80.83	94.10	111.0
69	43.77	46.85	48.39	52.77	55.19	58.18	63.65	70.20	76.09	82.08	95.52	112.6
70	44.58	47.68	49.24	53.66	56.11	59.13	64.67	71.29	77.26	83.32	96.95	114.3
71	45.38	48.52	50.09	54.56	57.03	60.08	65.68	72.38	78.42	84.56	98.37	116.0
72	46.19	49.36	50.94	55.46	57.96	61.04	66.69	73.47	79.59	85.80	99.80	117.6
73	47.00	50.20	51.80	56.35	58.88	61.99	67.71	74.56	80.75	87.05	101.2	119.3
74	47.81	51.04	52.65	57.25	59.80	62.95	68.72	75.65	81.92	88.29	102.7	120.9
75	48.62	51.88	53.51	58.15	60.73	63.90	69.74	76.74	83.08	89.53	104.1	122.6

76	49.43	52.72	54.37	59.05	61.65	64.86	70.75	77.83	84.25	90.78	105.5	124.3
77	50.24	53.56	55.23	59.96	62.58	65.81	71.77	78.93	85.41	92.02	106.9	125.9
78	51.05	54.41	56.09	60.86	63.51	66.77	72.79	80.02	86.58	93.26	108.4	127.6
79	51.87	55.25	56.95	61.76	64.43	67.73	73.80	81.11	87.74	94.51	109.8	129.3
80	52.69	56.10	57.81	62.67	65.36	68.69	74.82	82.20	88.91	95.75	111.2	130.9
81	53.51	56.95	58.67	63.57	66.29	69.65	75.84	83.30	90.08	96.99	112.6	132.6
82	54.33	57.80	59.54	64.48	67.22	70.61	76.86	84.39	91.24	98.24	114.1	134.3
83	55.15	58.65	60.40	65.39	68.15	71.57	77.87	85.48	92.41	99.48	115.5	135.9
84	55.97	59.50	61.27	66.29	69.08	72.53	78.89	86.58	93.58	100.7	116.9	137.6
85	56.79	60.35	62.14	67.20	70.02	73.49	79.91	87.67	94.74	102.0	118.3	139.3
86	57.62	61.21	63.00	68.11	70.95	74.45	80.93	88.77	95.91	103.2	119.8	140.9
87	58.44	62.06	63.87	69.02	71.88	75.42	81.95	89.86	97.08	104.5	121.2	142.6
88	59.27	62.92	64.74	69.93	72.82	76.38	82.97	90.96	98.25	105.7	122.6	144.3
89	60.10	63.77	65.61	70.84	73.75	77.34	83.99	92.05	99.41	107.0	124.0	145.9
90	60.92	64.63	66.48	71.76	74.68	78.31	85.01	93.15	100.6	108.2	125.5	147.6
91	61.75	65.49	67.36	72.67	75.62	79.27	86.04	94.24	101.8	109.4	126.9	149.3
92	62.58	66.35	68.23	73.58	76.56	80.24	87.06	95.34	102.9	110.7	128.3	150.9
93	63.42	67.21	69.10	74.50	77.49	81.20	88.08	96.43	104.1	111.9	129.8	152.6
94	64.25	68.07	69.98	75.41	78.43	82.17	89.10	97.53	105.3	113.2	131.2	154.3
95	65.08	68.93	70.85	76.33	79.37	83.13	90.12	98.63	106.4	114.4	132.6	155.9
96	65.92	69.79	71.73	77.24	80.31	84.10	91.15	99.72	107.6	115.7	134.0	157.6
97	66.75	70.65	72.61	78.16	81.25	85.07	92.17	100.8	108.8	116.9	135.5	159.3
98	67.59	71.52	73.48	79.07	82.18	86.04	93.19	101.9	109.9	118.2	136.9	160.9
99	68.43	72.38	74.36	79.99	83.12	87.00	94.22	103.0	111.1	119.4	138.3	162.6
100	69.27	73.25	75.24	80.91	84.06	87.97	95.24	104.1	112.3	120.6	139.7	164.3

N is the number of servers. The numerical column headings indicate blocking probability B in %. Table generated by Dan Dexter

Anexo B: Configuración Router Localidad Principal

Current configuration : 11646 bytes

```
!  
version 12.3  
service timestamps debug uptime  
service timestamps log uptime  
service password-encryption  
!  
hostname nombre_del_router  
!  
boot-start-marker  
boot-end-marker  
!  
logging queue-limit 100  
  
!  
no aaa new-model  
ip subnet-zero  
!  
ip tcp synwait-time 5  
no ip domain lookup  
ip domain name seniat.gov.ve  
!  
ip cef  
!  
modemcap entry MODEMCAPNAME:MSC=&FS0=1&D3
```

```

!
class-map match-any Mission-Critical-SET
  description Aplicaciones de Alta Prioridad Portal/SIDUNEA-Marcado
  match access-group name Portal-SIDUNEA
class-map match-all Interactive-SET
  description Aplicaciones de Prioridad Media CODA/SIVIT-Marcado
  match access-group name SIVIT-CODA
class-map match-all No-Estandar-SET
  description Aplicaciones No Estandar con Prioridad-Marcado
  match access-group name No-Estandar
class-map match-all Interactive-DSCP
  description Aplicaciones de Prioridad Media CODA/SIVIT-QoS
  match ip dscp af21
class-map match-any Mission-Critical-DSCP
  description Aplicaciones de Alta Prioridad Portal/SIDUNEA-QoS
  match ip dscp cs3 af31
class-map match-all No-Estandar-QoS
  description Aplicaciones No Estandar con Prioridad-Marcado
  match ip dscp af23
class-map match-all Voice-Services-DSCP
  description Trafico de Voz
  match ip dscp ef
!
policy-map QoS-policy
  description Aplicacion de prioridad
  class Voice-Services-DSCP
    priority 32
    compress header ip rtp
  class Mission-Critical-DSCP

```

```

bandwidth remaining percent 40
random-detect dscp-based
random-detect ecn
random-detect dscp 24 34 40
class Interactive-DSCP
compress header ip tcp
bandwidth remaining percent 15
random-detect dscp-based
random-detect ecn
class No-Estandar-QoS
bandwidth remaining percent 8
random-detect dscp-based
random-detect ecn
class class-default
bandwidth remaining percent 37
random-detect dscp-based
random-detect ecn
policy-map set-DSCP
description Mercado de paquetes
class Mission-Critical-SET
set ip dscp af31
class Interactive-SET
set ip dscp af21
class Voice-Services-DSCP
class No-Estandar-SET
set ip dscp af23
!
interface Multilink1
description Multilink Region Nor_Oriental s1/3

```

```

bandwidth 512
ip address dirección_ip mascara_de_red
ip route-cache flow
ppp multilink
ppp multilink fragment delay 10
ppp multilink interleave
ppp multilink group 1
service-policy output QoS-policy
!
interface Multilink2
description Multilink Region Guayana s1/2
bandwidth 768
ip address dirección_ip mascara_de_red
ip route-cache flow
ppp multilink
ppp multilink fragment delay 10
ppp multilink interleave
ppp multilink group 2
service-policy output QoS-policy
!
interface Multilink3
description Multilink Region Central s1/6
bandwidth 384
ip address dirección_ip mascara_de_red
ip route-cache flow
ppp multilink
ppp multilink fragment delay 10
ppp multilink interleave
ppp multilink group 3

```

```

service-policy output QoS-policy
!
interface Multilink4
description Multilink Region Los Andes s1/1
bandwidth 384
ip address dirección_ip mascara_de_red
ip route-cache flow
ppp multilink
ppp multilink fragment delay 10
ppp multilink interleave
ppp multilink group 4
service-policy output QoS-policy
!
interface Multilink5
description Multilink Region Zuliana s1/5
bandwidth 768
ip address dirección_ip mascara_de_red
ip route-cache flow
ppp multilink
ppp multilink fragment delay 10
ppp multilink interleave
ppp multilink group 5
service-policy output QoS-policy
!
interface Multilink6
description Multilink Region Centro Occidental s1/0
bandwidth 384
ip address dirección_ip mascara_de_red
ip route-cache flow

```

```

ppp multilink
ppp multilink fragment delay 10
ppp multilink interleave
ppp multilink group 6
service-policy output QoS-policy
!
interface Multilink7
description Region Los Llanos s1/7
bandwidth 384
ip address dirección_ip mascara_de_red
ip route-cache flow
ppp multilink
ppp multilink fragment delay 10
ppp multilink interleave
ppp multilink group 7
service-policy output QoS-policy
!
interface Multilink8
description Multilink Region_Insular s1/4
bandwidth 512
ip address dirección_ip mascara_de_red
ip route-cache flow
ppp multilink
ppp multilink fragment delay 10
ppp multilink interleave
ppp multilink group 8
service-policy output QoS-policy
!
interface FastEthernet0/0

```

```
ip address dirección_ip mascara_de_red
ip nbar protocol-discovery
ip pim sparse-dense-mode
ip route-cache flow
duplex full
speed 100
service-policy input set-DSCP
hold-queue 500 in
!
interface Serial1/0
description Region Centro-Occidental
no ip address
encapsulation ppp
serial restart-delay 0
ppp multilink
ppp multilink group 6
!
interface Serial1/1
description Wan Hacia Region Los Andes
no ip address
encapsulation ppp
serial restart-delay 0
ppp multilink
ppp multilink group 4
!
interface Serial1/2
description Wan Hacia Region Guayana
no ip address
encapsulation ppp
```

```
serial restart-delay 0
ppp multilink
ppp multilink group 2
!
interface Serial1/3
description Wan hacia La Region Nor Oriental
no ip address
encapsulation ppp
serial restart-delay 0
ppp multilink
ppp multilink group 1
!
interface Serial1/4
description WAN hacia Region Insular
no ip address
encapsulation ppp
serial restart-delay 0
ppp multilink
ppp multilink group 8
!
interface Serial1/5
description Wan Hacia Region Zuliana
no ip address
encapsulation ppp
serial restart-delay 0
ppp multilink
ppp multilink group 5
!
interface Serial1/6
```

```

description Wan Hacia Region Central
no ip address
encapsulation ppp
serial restart-delay 0
ppp multilink
ppp multilink group 3
!
interface Serial1/7
description Wan Hacia Region Los Llanos
no ip address
encapsulation ppp
serial restart-delay 0
ppp multilink
ppp multilink group 7
!
router eigrp 100
redistribute static
network dirección_red_1
network dirección_red_2
no auto-summary
no eigrp log-neighbor-changes
!
ip classless
ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 dirección_ip_puerta_de_enlace
no ip http server
no ip http secure-server
!
ip access-list extended No-Estandar
permit tcp any any eq puerto_1

```

```
permit tcp any any eq puerto_2
permit tcp any any eq telnet
permit icmp any any echo
permit icmp any any echo-reply
permit ip any host dirección_ip_1
permit ip any host dirección_ip_2
ip access-list extended SIVIT-CODA
permit ip host dirección_ip_3 any
permit ip host dirección_ip_4 any
permit ip host dirección_ip_5 any
permit ip any host dirección_ip_6
permit ip any host dirección_ip_7
permit ip any host dirección_ip_8
permit ip any host dirección_ip_9
permit ip any host dirección_ip_10
ip access-list extended portal-sidunea
permit ip host dirección_ip_11 any
permit ip host dirección_ip_12 any
permit ip host dirección_ip_13 any
permit ip host dirección_ip_14 any
permit ip host dirección_ip_15 any
permit ip host dirección_ip_16 any
permit tcp any any range rango_de_puertos_sistema_sidunea
!
snmp-server community nombre_de_comunidad
snmp-server enable traps tty
!
dial-peer cor custom
```