

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO

MAESTRÍA EN REDES Y TELECOMUNICACIONES

Tema:

**“MODELOS DE CONFIGURACIÓN DE CALIDAD DE SERVICIOS (QoS)
EN EL TRÁFICO DE VOZ Y SU IMPACTO EN EL SISTEMA DE
TELEFONÍA IP DE LA EMPRESA CEMENTO CHIMBORAZO C.A.”**

Trabajo de Investigación

Previa a la obtención del Grado Académico de Magíster en Redes y
Telecomunicaciones.

Autor:

Ing. Tatiana Paola Zambrano Valverde

Director:

Ing. Mg. Danilo Pástor Ramirez

Ambato - Ecuador
2011

Al Consejo de Posgrado de la UTA

El tribunal receptor de la defensa del trabajo de investigación con el tema: **“MODELOS DE CONFIGURACIÓN DE CALIDAD DE SERVICIO (QoS) EN EL TRÁFICO DE VOZ Y SU IMPACTO EN EL SISTEMA DE TELEFONÍA IP DE LA EMPRESA CEMENTO CHIMBORAZO C.A.”**, presentado por la Ing. Tatiana Paola Zambrano Valverde y conformado por: Ing. Mg. Julio Cuji, Ing. Mg. Franklin Mayorga, Ing. Mg. Jaime Ruiz, Miembros del Tribunal, Ing. Mg. Danilo Pástor, Director del trabajo de investigación y presidido por el Ing. Mg. Oswaldo Paredes; Presidente del Tribunal; Ing. Mg. Juan Garcés Chávez Director del CEPOS - UTA, una vez escuchada la defensa oral el Tribunal aprueba y remite el trabajo de investigación para el uso y custodia en la biblioteca de la UTA.

Ing. Mg. Oswaldo Paredes Ochoa
Presidente del Tribunal de Defensa

Ing. Mg. Juan Garcés Chávez
DIRECTOR CEPOS

Ing. Mg. Danilo Pástor Ramírez
Director de Trabajo de Investigación

Ing. Mg. Julio Cuji Rodríguez
Miembro del Tribunal

Ing. Mg. Franklin Mayorga Oswaldo
Miembro del Tribunal

Ing. Mg. Jaime Ruiz Banda
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el trabajo de investigación con el tema: **“MODELOS DE CONFIGURACIÓN DE CALIDAD DE SERVICIO (QoS) EN EL TRÁFICO DE VOZ Y SU IMPACTO EN EL SISTEMA DE TELEFONÍA IP DE LA EMPRESA CEMENTO CHIMBORAZO C.A”**, nos corresponde exclusivamente a Ing. Tatiana Zambrano V. Autor y de Ing. Mg. Danilo Pástor, Director del trabajo de investigación; y el patrimonio intelectual del mismo a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Tatiana Zambrano Valverde.

Autor

Ing. Mg. Danilo Pástor Ramírez

Director

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo de investigación o parte de él un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo de investigación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de esta, dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ing. Tatiana Paola Zambrano Valverde

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	i
APROBACIÓN DEL JURADO EXAMINADOR	ii
AUTORÍA DE LA TESIS.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
INDICE GENERAL	v
INDICE DE TABLAS	vii
INDICE DE CUADROS Y FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
INTRODUCCIÓN.....	xi
CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA.....	1
Planteamiento del Problema.....	1
Contextualización	1
Análisis Crítico	1
Prognosis	2
Formulación del Problema	3
Interrogantes de la Investigación.....	3
Delimitación de la Investigación	3
Justificación.....	3
Objetivos	5
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos:.....	5
CAPITULO II.....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
Antecedentes de Investigación	6
Fundamentaciones	7
Fundamentación Legal.....	34
Organizador Lógico de Variables.....	36
Hipótesis.....	37
Señalamiento de Variables	37
CAPITULO III	38
METODOLOGÍA.....	38
Enfoque	38
Modalidad de Investigación	38
Niveles o Tipos.....	38
Operacionalización de Variables.....	39
Plan para Recolección de la Información.....	40
Plan para el Procesamiento de la Información.....	40
CAPITULO IV	42

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	42
Verificación de la Hipótesis	68
CAPITULO V	83
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
Conclusiones.....	83
Recomendaciones	85
CAPITULO VI	87
LA PROPUESTA.....	87
Antecedentes de la Propuesta.....	87
Justificación.....	88
Objetivos	89
Objetivo General.....	89
Objetivos Específicos.....	89
Análisis de Factibilidad.....	89
Fundamentación.....	90
Previsión de la Evaluación	100
BIBLIOGRAFÍA	102
ANEXOS.....	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Indicadores de Calidad de Voz	9
Tabla 2.2 Indicadores de Servicio.....	10
Tabla 4.1. Descripción de equipos utilizados en escenario montado	46
Tabla 4.2. Plan de direccionamiento para los escenarios de prueba.....	47
Tabla 4.3. Descripción del software utilizado en escenario de pruebas	48
Tabla 4.4. Datos obtenidos Escenario 1	50
Tabla 4.5. Datos obtenidos Escenario 2	51
Tabla 4.6. Datos obtenidos Escenario 3	52
Tabla 4.7. Datos obtenidos Escenario 4	52
Tabla 4.8. Datos obtenidos Escenario 5	54
Tabla 4.9. Datos obtenidos Escenario 6	55
Tabla 4.10. Datos obtenidos Escenario 7	55
Tabla 4.11. Datos obtenidos Escenario 8	56
Tabla 4.12. Variación de Jitter (con tráfico de red).....	57
Tabla 4.13. Paquetes Perdidos (con tráfico de red)	58
Tabla 4.14. Ancho de Banda utilizado (con tráfico de red)	60
Tabla 4.15. Retardo (con tráfico de red)	61
Tabla 4.16. Variación de Jitter (sin tráfico de red)	63
Tabla 4.17. Paquetes Perdidos (sin tráfico de red)	64
Tabla 4.18. AB utilizado(sin tráfico de red).....	66
Tabla 4.19. Retardo (sin tráfico de red)	67
Tabla 4.20. T.C Jitter sin QoS vs Jitter con WRED&CBWFQ.....	71
Tabla 4.21. Cálculo de X2 Jitter sin QoS vs Jitter con WRED&CBWFQ	71
Tabla 4.22. T.C. Paq. Perd. sin QoS vs Paq. Per. con WRED&CBWFQ.....	71
Tabla 4.23. Cálculo X ² Paq. Per. sin QoS vs Paq. Per. con WRED&CBWFQ	72
Tabla 4.24. T.C AB sin QoS vs AB con WRED&CBWFQ	72
Tabla 4.25. Cálculo de X ² AB sin QoS vs AB con WRED&CBWFQ.....	72
Tabla 4.26. T.C Retardo sin QoS vs Retardo con WRED&CBWFQ.....	73
Tabla 4.27. Cálculo de X ² Retardo sin QoS vs Retardo con WRED&CBWFQ ...	73
Tabla 4.28. Tabla de Contingencias 2x2 Jitter sin QoS vs Jitter con LLQ	74
Tabla 4.29. Tabla de Cálculo de X2 Jitter sin QoS vs Jitter con LLQ	74
Tabla 4.30. T.C Paquetes perdidos sin QoS vs Paquetes perdidos con LLQ.....	75
Tabla 4.31. Cálculo de X2 Paq. perdidos sin QoS vs Paq. perdidos con LLQ	75
Tabla 4.32. T.C AB sin QoS vs AB con LLQ.....	75
Tabla 4.33. Cálculo de X ² AB sin QoS vs AB con LLQ	76
Tabla 4.34. T.C Retardo sin QoS vs Retardo con LLQ	76
Tabla 4.35. Cálculo de X ² Retardo sin QoS vs Retardo con LLQ.....	76
Tabla 4.36. T.C Jitter sin QoS vs Jitter con IP RTP Priority	77
Tabla 4.37. Tabla de Cálculo X2 Jitter sin QoS vs Jitter con IP RTP Priority	78
Tabla 4.38. T.C Paq. perdidos sin QoS vs Paq. perdidos con IP RTP Priority	78

Tabla 4.39. Cálculo de X^2 Paq. perd sin QoS vs Paq. perd con IP RTP Priority .	78
Tabla 4.40. T.C AB sin QoS vs AB con IP RTP Priority	79
Tabla 4.41. Cálculo de X^2 AB sin QoS vs AB con IP RTP Priority.....	79
Tabla 4.42. T.C Retardo sin QoS vs Retardo con IP RTP Priority	79
Tabla 4.43. Cálculo de X^2 Retardo sin QoS vs Retardo con IP RTP Priority.....	80
Tabla 4.44. Resumen del Cálculo de X^2 para Escenario RED&CBWFQ	80
Tabla 4.45. Resumen del Cálculo de X^2 para Escenario LLQ	80
Tabla 4.46. Resumen del Cálculo de X^2 para el Escenario IP RTP Priority	80
Tabla 4.47. Tabla demostrativa del cumplimiento de la hipótesis	81

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro No. 1 Operacionalización de la Variable Independiente	83
Cuadro No. 2 Operacionalización de la Variable Dependiente	83
Figura 2.1. Modelo de un Sistema de Comunicaciones.....	23
Figura 2.2. Modelo de simplificación de infraestructura de comunicaciones.....	25
Figura 2.3. Modelo de integración de sedes empresariales.....	25
Figura 2.4. Modelo de unificación del Sistema Telefónico	25
Figura 2.5. Convergencia de tecnología analógica a IP.....	26
Figura 2.6. Componentes en una red de Telefonía-IP	27
Figura 2.7. Elementos de una aplicación IP	29
Figura 2.8. Proceso de comunicación con protocolo MGCP	32
Figura 2.9. Intercambio de msj para establecer comunicación con protocolo	33
Figura 2.10. Protocolos involucrados en una red telefónica	34
Figura 4.1. Red WAN Cemento Chimborazo C.A.....	43
Figura 4.2. Red LAN Cemento Chimborazo C.A	44
Figura 4.3. Escenario de Pruebas.....	45
Figura 4.4. Variación de Jitter (con tráfico de red).....	57
Figura 4.5. Paquetes Perdidos (con tráfico de red).....	59
Figura 4.6. Ancho de Banda utilizado (con tráfico de red).....	60
Figura 4.7. Retardo (con tráfico de red).....	62
Figura 4.8. Variación de Jitter (sin tráfico de red).....	63
Figura 4.9. Paquetes Perdidos (sin tráfico de red).....	65
Figura 4.10. Ancho de Banda utilizado (sin tráfico de red).....	66
Figura 4.11. Retardo (sin tráfico de red).....	68
Figura 4.12. Porcentaje de cumplimiento de hipótesis en cada escenario	82
Figura 6.1. Propuesta de implementación de IP RTP Priority	91
Figura 6.2. Escenario de pruebas donde se aplicó IP RTP Priority	93
Figura 6.3. Interfaz Wireshark.....	100
Figura 6.4. Interfaz VQManager	100

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRÍA EN REDES Y TELECOMUNICACIONES

**“MODELO DE CONFIGURACIÓN DE CALIDAD DE SERVICIO (QoS)
EN EL TRÁFICO DE VOZ Y SU IMPACTO EN EL SISTEMA DE
TELEFONÍA IP DE CEMENTO CHIMBORAZO C.A”**

Autor: Zambrano Valverde Tatiana Paola

Tutor: Ing. Pástor Danilo, M. Sc.

RESUMEN

La investigación sobre *“MODELO DE CONFIGURACIÓN DE CALIDAD DE SERVICIO (QoS) EN EL TRÁFICO DE VOZ Y SU IMPACTO EN EL SISTEMA DE TELEFONÍA IP DE CEMENTO CHIMBORAZO C.A.”*, tiene como objetivo general estudiar el desarrollo de nuevas tecnologías ante las necesidades crecientes de transmisión de voz, datos y video, al exigir una red IP que ofrezca calidad de servicio y donde se emplee de forma eficiente el ancho de banda disponible. La red WAN de la Empresa Cemento Chimborazo C.A. y su Sistema de Telefonía IP han sido el objetivo de investigación del presente trabajo, que lleva al estudio de las diferentes técnicas de Manejo de colas para lograr la mejor configuración de Calidad de Servicio (QoS) que transforme al Sistema de Telefonía IP actual en un sistema de alta confiabilidad y calidad.

DESCRIPTORES: Calidad de Servicio (QoS), Telefonía IP, Manejo de colas, red WAN.

INTRODUCCIÓN

La Calidad de Servicio en un Sistema de Telefonía IP es desde el punto de vista de confiabilidad y disponibilidad un parámetro determinante en el grado de satisfacción de un usuario final.

La determinación de la mejor configuración de QoS en un Sistema de Telefonía IP permite lograr un alto performance del servicio que utilizan todos los usuarios de una red WAN logrando una eficiente transmisión del tráfico de voz. Y es así, que el objetivo de estudio del presente trabajo ha sido proponer un modelo de configuración que logre mejorar la calidad de servicio en el Sistema de Telefonía IP de Cemento Chimborazo C.A., para tal efecto a continuación se explica la secuencia ejecutada en pos de lograr las metas fijadas.

En el primer capítulo se describe el problema de la falta de calidad en la transmisión de voz de los usuarios que utilizan el sistema telefónico, ante la ocurrencia de defectos fácilmente percibidos en la comunicación.

El capítulo segundo aborda los fundamentos teóricos para poder desarrollar el análisis de la mejor configuración de QoS, partiendo de las diferentes métricas que permiten determinar los niveles de calidad de voz y de servicio. Recoge además fragmentos de estudios relacionados al presente tema de investigación. En el tercer capítulo se describe la metodología de ejecución del trabajo de investigación.

El cuarto capítulo analiza los datos recogidos de todas las simulaciones realizadas en el laboratorio, que fueron réplica de la realidad del sistema de telefonía IP en estudio. Estos datos fueron obtenidos de tres escenarios diferentes y comparados con el actual. En una segunda fase, está la evaluación de las métricas de QoS en

cada uno de los escenarios estudiados y la posterior aplicación de la prueba de Chi cuadrado para realizar la verificación de la hipótesis planteada en el presente trabajo.

En el quinto capítulo se enlistan las conclusiones y recomendaciones de donde nace la propuesta de implementación de la mejor configuración de QoS, la cual se constituye en el resultado del desarrollo de los capítulos anteriores.

En el sexto se explica el proceso de implementación del mejor tipo de cola en los routers de la red WAN de Cemento Chimborazo C.A., indicándose las etapas en orden de prioridad que deben llevarse a cabo para ejecutarlo.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

Planteamiento del Problema

Contextualización

El tema de la telefonía IP aparece cada vez con mayor frecuencia en todas las partes del mundo, ya sea en entornos empresariales o domésticos. Ésta es una tecnología emergente, cuyo crecimiento se especula constantemente. Pero a pesar de que ofrece mayores posibilidades de desarrollo de servicios con respecto a la telefonía clásica, aún no tiene un buen nivel de calidad al momento de transmitir la voz por una red única que conjuga la transmisión heterogénea.

La integración de las Comunicaciones a una sola red, económica y flexible, hace que se genere un impacto de esta tecnología en todos los organismos empresariales como es el caso de la Empresa Cemento Chimborazo C.A., la cual ha integrado a su red el servicio de Telefonía IP sin conseguir hasta el momento un buen performance de ésta.

Análisis Crítico

La Calidad de Servicio (QoS) encierra las tecnologías que garantizan la transmisión de cierta cantidad de datos en un tiempo dado. Calidad de servicio es la capacidad de dar un buen servicio en Telefonía IP.

A la ausencia o mal uso de esta tecnología, muchas cosas pueden ocurrir con los paquetes que llevan los mensajes desde su origen al destino, resultando en inconvenientes serios desde el punto de vista del transmisor y receptor. Y es éste precisamente el principal problema que presenta hoy en día la implantación de Telefonía IP, el no poder garantizar la calidad de servicio sobre una red IP, en base a retardos y ancho de banda.

Prognosis

La transmisión de la voz a través de una red IP brinda nuevas oportunidades para quienes sean capaces de preverlas y actúen con la rapidez suficiente para superar la confusión que envuelve esta tecnología.

Pero, si no existe el correcto establecimiento de mecanismos de control ni una guía que oriente al análisis de parámetros que involucran la calidad de este servicio no se logrará garantizar la máxima efectividad de esta tecnología ni se integrará correctamente la voz como un servicio más de la red. Así, un Sistema de Telefonía IP no podrá ser implementado en cualquier corporación, ya que su nivel de adición de aplicaciones reducirá el valor del negocio de la empresa, convirtiéndolo en incipiente, desmejorando la eficiencia de sus procesos de negocios, y quitando velocidad y agilidad a las comunicaciones que involucran la toma de decisiones. Sin lugar a dudas el que las organizaciones entiendan cómo influyen estos parámetros en los beneficios de las plataformas de comunicaciones unificadas pueden optimizar un determinado proceso productivo, y como consecuencia de aquello, definir casos de negocio específicos que sean aplicables a la realidad interna, y que sirvan como el punto de partida para el desarrollo de una estrategia de migración e inversión de un nivel superior.

Formulación del Problema

¿Cuál es el modelo idóneo de Calidad de Servicio (QoS) en el tráfico de voz del Sistema de Telefonía IP en la Empresa Cemento Chimborazo C.A?

Interrogantes de la Investigación

- ¿Cuáles son los inconvenientes que presenta el Sistema de Telefonía IP en la empresa Cemento Chimborazo C.A?
- ¿De qué manera influyen los factores de Calidad de Servicio en la red de Telefonía IP de la empresa Cemento Chimborazo C.A.
- ¿Existe alguna solución que ayude a mejorar el rendimiento en el tráfico de voz del Sistema de Telefonía IP en la Empresa Cemento Chimborazo C.A?

Delimitación de la Investigación

Delimitación Espacial:

La presente investigación se realizó en la empresa Cemento Chimborazo C.A

Delimitación Temporal

El desarrollo del trabajo se llevó a efecto en el primer trimestre del año 2010.

Justificación

La evaluación de los parámetros de calidad de servicio sobre el tráfico de voz, reviste especial interés, porque marca la diferencia entre la telefonía clásica y la que utiliza la red IP como medio de transmisión, sabiendo que, esta última aumenta servicios y minimiza significativamente costos.

Pero, no es útil para nadie disponer de una tecnología que a pesar de que nos ofrece muchas ventajas, no está cumpliendo con las expectativas de calidad esperados en los sistemas de comunicación.

Es por eso, de que a pesar que la telefonía tradicional poco a poco ha ido perdiendo fuerza frente a todas las ventajas que ofrece la tecnología IP, no ha desaparecido del todo, ya que aún no logra ser superada en calidad por la telefonía IP.

Es importante entonces, tomar en cuenta al momento de implementar una Solución de Telefonía IP, varios parámetros que hacen que esta tecnología iguale o supere completamente a la tradicional. De ahí la necesidad de estudiar y analizar los elementos que permiten optimizar dicha solución y que garantizan el cumplimiento de las expectativas de calidad en el servicio telefónico. Si no se evalúa correctamente éstos, no se puede hablar de un sistema de comunicación óptimo.

A través de esta investigación se pudo conocer cuáles son los parámetros que determinan la Calidad de Servicio en una aplicación IP y qué incidencia tienen en el performance de ésta.

Las experiencias vividas en el campo de implementación de Telefonía IP, demuestran de forma evidente, la importancia de estar preparados para solventar problemas ocasionados por configuraciones erróneas de estos parámetros.

El presente trabajo se destacó por convertirse en el primero de su índole que investiga los parámetros de Calidad de Servicio (QoS) para sistemas de telefonía IP.

Objetivos

Objetivo General

Determinar el modelo idóneo de Calidad de Servicio (QoS) sobre el tráfico de voz en el sistema de Telefonía IP de la empresa Cemento Chimborazo C.A.

Objetivos Específicos:

- Determinar cuáles son los factores que influyen en la calidad de transmisión de voz sobre el sistema de Telefonía IP de Cemento Chimborazo C.A.
- Evaluar el impacto de los factores que afectan la Calidad de Servicio en la red de Telefonía IP de la empresa Cemento Chimborazo C.A.
- Proponer una solución para mejorar el rendimiento en el tráfico de voz del sistema de telefonía IP de la empresa Cemento Chimborazo C.A.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

Antecedentes de Investigación

Se han considerado los estudios elaborados en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato por constituirse en una institución que reúne la mayoría de proyectos de investigación en el centro del país. Se halló tan solo un proyecto a nivel de posgrado relacionado a una Propuesta de Análisis y Diseño para la implementación de VOIP aplicando QoS para la integración de la red de la ESPE sede Latacunga con la ESPE matriz, elaborado por la Ing. Paulina Mayorga en el año 2009.

Sin embargo, se ha tomado en cuenta tesis publicadas en la web, las cuales se exponen a continuación:

- *Propuesta de arquitectura MPLS/DiffServ para proveer mecanismos de calidad de servicio (QoS) en el transporte de la telefonía IP (Sidnei de Oliveira Guerra / Universidad Politécnica de Madrid)*

El objetivo principal de este trabajo investigativo es proponer un modelo de Red de Voz Virtual para cursar el tráfico de voz sobre una red de paquetes IP (Telefonía IP), utilizando una arquitectura basada en MPLS/DiffServ para proveer calidad de servicio. La arquitectura propuesta proporciona eficiencia, fiabilidad, escalabilidad y disponibilidad orientada a la comunicación de voz sobre redes IP, proporcionando un servicio de forma transparente y con niveles de calidad equivalentes a los ofrecidos por la telefonía clásica.

- *Propuesta de arquitectura de QoS en entorno inalámbrico 802.11e basado en Diffserv con ajuste dinámico de parámetros (Carlos García García / Universidad Carlos III de Madrid)*

Basada en la norma desarrollada por el grupo de trabajo IEEE 802.11e, este proyecto tiene como objetivo proponer una arquitectura de red de acceso con soporte de calidad de servicio basado en el modelo de servicios diferenciados para dispositivos móviles 802.11e, que maximiza el rendimiento de la red de acceso ajustando de forma dinámica los parámetros de acceso de cada cliente en base a la carga de red.

- *Análisis de requerimientos de QoS sobre redes IP multicast (David Alejandro Perez / Universidad Nacional de La Plata)*

Esta tesis analiza los protocolos y mecanismos que permiten el manejo y administración de requerimientos de calidad de servicio, QoS, sobre flujos de datos IP Multicast, describiendo las tecnologías IP Multicast, IP MPLS, IP Multicast sobre redes IP MPLS, Aggregated Multicast Tree.

- *QoS en redes wireless con IPv6 (Matías Robles / Universidad Nacional de La Plata)*

Mediante este trabajo investigativo se analiza y propone técnicas de Calidad de Servicio en redes wireless usando el protocolo IPv6.

El objetivo de la propuesta es definir una topología de red inalámbrica sobre la que se generan tráficos con diferentes requerimientos.

Fundamentaciones

Fundamentación Teórica

CONVERGENCIA IP

Hoy en día, la convergencia de las comunicaciones corporativas de voz, datos y video en una única red IP, desde cualquier ubicación y a través de diferentes tecnologías de acceso (Ethernet, ADSL, WiFi, 2.5G, 3G, WiMax, Satélite), es ya una realidad y una tendencia imparable. Esto es debido a que las soluciones que integran voz y datos, aportan importantes beneficios para las empresas y sus usuarios.

Son cada vez más las empresas que se han planteado unificar sus comunicaciones utilizando este único medio, en lo que se ha convenido en denominar convergencia IP. Unificación de sistemas de telefonía y ahorros en llamadas empleando voz sobre IP (VoIP), soluciones para movilidad de usuarios, y sobre todo, la simplificación e integración de toda la infraestructura de comunicaciones en una única red, son las ventajas más interesantes que hacen que cada vez más la convergencia IP forme parte ya del presente para muchas empresas.

VOZ SOBRE IP

Voz sobre Protocolo de Internet, también llamado VoIP (por sus siglas en inglés), es un grupo de recursos que hacen posible que la señal de voz viaje a través de Internet empleando un protocolo IP (Protocolo de Internet). Esto significa que se envía la señal de voz en forma digital, en paquetes, en lugar de enviarla en forma digital o analógica, a través de circuitos utilizables sólo para telefonía como una compañía telefónica convencional o PSTN. La Voz sobre IP (VoIP, Voice over IP) es una tecnología que permite la transmisión de la voz a través de redes IP en forma de paquetes de datos

Los Protocolos que se usan para enviar las señales de voz sobre la red IP se conocen como protocolos de Voz sobre IP o protocolos IP. El tráfico de Voz sobre IP puede circular por cualquier red IP, incluyendo aquellas conectadas a Internet, como por ejemplo las redes de área local (LAN).

CALIDAD DE SERVICIO EN EL TRÁFICO DE VOZ

QoS o Calidad de Servicio (*Quality of Service*, en inglés) son las tecnologías que garantizan la transmisión de cierta cantidad de datos en un tiempo dado. Calidad de servicio es la capacidad de dar un buen servicio en transmisiones de voz o video.

A medida que las redes originalmente diseñadas para datos deben adoptar también la VoIP se requiere de mecanismos que nos aseguren que la voz tendrá prioridad, esto debido a que las conversaciones telefónicas ocurren en tiempo real, de manera que es inaceptable que los paquetes de VoIP lleguen tarde o demasiado tarde o no lleguen nunca.

Las ventajas de la reducción de costos y el ahorro de ancho de banda en las redes de paquetes de voz se asocian con factores de calidad de servicio (QoS) que corresponden solo a las redes de paquetes.

INDICADORES DE CALIDAD DE VOZ

Indicador	Definición	Impacto / Síntoma
Ancho de Banda	La cantidad de espacio disponible en la red para el tráfico de información Se debe estimar en el momento con mayor tráfico	El Ancho de banda Mal administrado Contribuye a generar latencia y jitter
Latencia	Lapso de tiempo en el cual un paquete viaja de su origen al destino La latencia debe ser menor a 150ms	Crea Eco Reduce la calidad de la llamada
Jitter	Nivel de variación en la calidad (inestabilidad) Ocurre cuando cantidades significativas de datos se retrasan, Debe ser menor a 40ms	Causa cortes Reduce la calidad de la llamada
Perdida de Paquetes	Los paquetes de datos no se pueden perder, o arribar demasiado tarde a su destino Debería ser 0% o menor a 1%	Reduce la calidad de la llamada Causa que se corten las llamadas
Eco	Repetición del audio Ocasionado por la latencia	Reduce la calidad de la llamada Interrumpe la comunicación

Tabla 2.1. Indicadores de Calidad de Voz

INDICADORES DE SERVICIO

APLICACION	DESEMPEÑO			
	Ancho de Banda	Sensibilidad a		
		Retardo	Jitter	Perdida
VoIP	Bajo	Alta	Alta	Media
Video Conferencia	Alto a2e6C	Alta	Alta	Media
Streaming media	Bajo-Alto	Alta	Baja	Media
Operaciones Cliente / Servidor	Bajo	Media	Baja	Alta
Email (store/forward)	Bajo	Baja	Baja	Alta
Tráfico de intenso	Bajo-Medio	Baja	Baja	Baja

Tabla 2.2 Indicadores de Servicio

Los parámetros de QoS en red de transporte, tal y como se están estandarizando en IETF, se definen sobre un flujo IP y son:

a. **LATENCIA.**

Se define así al gap en la conversación debido a los retardos acumulados. El primer retardo es en la matriz de switch y el retardo de procesamiento. A esto se suman los retardos propios del proceso de compresión vocal.

b. **JITTER**

Es el efecto por el cual el retardo entre paquetes no es constante. Se trata de una latencia variable producida por la congestión de tráfico en el backbone de red, por distinto tiempo de tránsito de paquetes debido al *connectionless*, etc. Dicho de otra forma, es la variación en los retardos en la llegada de los paquetes entre su origen y el destino usualmente.

c. **RETARDO**

El retardo causa dos problemas: eco y traslape del habla. Las características anteriores (latencia y jitter) pueden producir eco sobre la señal telefónica. El eco también es causado por las señales reflejadas por el equipo telefónico del extremo distante que regresan al oído del hablante.

El eco llega a ser un problema significativo cuando el retardo del viaje redondo llega a ser más de 50 milisegundos. Se tienen dos tipos de eco:

- ❖ Uno tiene alto nivel y poco retardo que se produce a nivel local en el circuito híbrido de 2 a 4 hilos;
- ❖ El otro es de bajo nivel y gran retardo y se produce en el circuito separador híbrido remoto.

Por otro lado algunas veces el eco se produce dentro del mismo teléfono IP por un pobre diseño acústico o por influencia directa de los materiales con los que se ha construido, lo que puede afectar el desempeño de teléfonos IP de bajo costo que aunque cuentan con una electrónica de calidad son afectados a nivel acústico al permitir un retorno de la voz entre el auricular y el micrófono.

El traslape del habla (cuando dos personas hablan casi al mismo tiempo) es significativo si el retardo en una sola vía es mayor de 250 milisegundos. Por lo tanto el retardo completo llega a ser mayor.

Algunas de las fuentes de retardo en una sola vía para una llamada hecha con paquetes de voz se describen a continuación:

- **Retardo de Procesamiento:**

Es causado por el procesamiento de codificación y recolección de las muestras codificadas en paquetes para la transmisión sobre una red de paquetes. El retardo de codificación es una función del tiempo de ejecución del procesador y el tipo de algoritmo usado. A menudo se recolectan múltiples marcos de codificación de voz en un solo paquete para reducir la cabecera del paquete. Por ejemplo, 3 marcos de palabras codificadas en G.729 (equivalente a 30 milisegundos de habla) se recolectan y empaquetan en un solo paquete.

- **Retardo de Red**

Es causado por el medio físico y los protocolos usados para transmitir los datos de voz y por los buffers usados para remover el jitter en el lado receptor. El retardo de red es una función de la capacidad de los enlaces en la red y del procesamiento que ocurre a medida que los paquetes transitan por esta. Los buffer para jitter agregan retardo, que es utilizado para remover la variación de retardo a la que están sujetos los paquetes a medida que transitan en una red de paquetes.

d. THROUGHPUT.

Es la capacidad de un enlace de transportar información útil. Representa a la cantidad de información útil que puede transmitirse por unidad de tiempo. No tiene relación directa con el delay. (por ejemplo, se puede tener un enlace de alto throughput y alto delay o viceversa, como sería por ejemplo un enlace satelital de 2Mbps y 500 mseg de delay).

e. PACKET LOSS.

Es la tasa de pérdida de paquetes. Representa el porcentaje de paquetes transmitidos que se descartan en la red. Estos descartes pueden ser producto de alta tasa de error en alguno de los medios de enlace o por sobrepasarse la capacidad de un buffer de una interfaz en momentos de congestión. Los paquetes perdidos son retransmitidos en aplicaciones que no son de Tiempo Real; en cambio para telefonía, no pueden ser recuperados y se produce una distorsión vocal.

El delay afecta a la performance de aplicaciones interactivas (por ejemplo, Telnet). El throughput afecta a la performance de aplicaciones que mueven grandes volúmenes de información (por ejemplo, Mail y FTP). El packet loss afecta a ambos tipos de aplicaciones. El jitter afecta a aplicaciones de tiempo real como la voz y el video por IP.

f. CÓDECS.

La comunicación de voz es analógica, mientras que la red de datos es digital. El proceso de convertir ondas analógicas a información digital se hace con un codificador-decodificador (el CODEC), éste convierte una señal de audio analógico en un formato de audio digital para transmitirlo y luego convertirlo nuevamente a un formato descomprimido de señal de audio para poder reproducirlo.

Hay muchas maneras de transformar una señal de voz analógica, todas ellas gobernadas por varios estándares. Esta es la esencia del VoIP, la conversión de señales entre analógico-digital. El proceso de la conversión es complejo. Es suficiente decir que la mayoría de las conversiones se basan en la modulación codificada mediante pulsos (PCM) o variaciones.

ACERCAMIENTOS A LA CALIDAD DE SERVICIO

Si bien es posible encontrarse con variadas técnicas de implementación de QoS, todas ellas tienen en común la clasificación o diferenciación de flujos de tráfico, en grupos llamados clases. Es probable que, cuando se habla de calidad de servicio, se piense en clases de servicio diferenciadas, en conjunto quizá con algunos mecanismos para proveer políticas de tráfico o control de admisión. La palabra clave en este tema es la diferenciación, debido a que antes de poder otorgar calidad de servicio a un cliente en particular, aplicación o protocolo, es necesario clasificar el tráfico en clases y determinar la forma en que serán manejadas estas clases de tráfico a medida que circulan por la red.

Durante los últimos años han surgido variados métodos para establecer QoS en equipamientos de redes. Algoritmos avanzados de manejo de cola, modeladores de tráfico (traffic shaping), y mecanismos de filtrado mediante listas de acceso (access-list), han hecho que el proceso de elegir una estrategia de QoS sea más delicado. Cada red puede tomar ventaja de distintos aspectos en implementaciones

de QoS para obtener una mayor eficiencia, ya sea para redes de pequeñas corporaciones, empresas o proveedores de servicios de Internet. Existen tres modelos en los que se divide el despliegue de calidad de servicio:

a) Servicio de Mejor Esfuerzo. Se le llama servicio de mejor esfuerzo al que la red provee cuando hace todo lo posible para intentar entregar el paquete a su destino, donde no hay garantía de que esto ocurra. Una aplicación enviará datos en cualquier cantidad, cuando lo necesite, sin pedir permiso o notificar a la red. Éste es el modelo utilizado por las aplicaciones de Ftp y Http. Obviamente, no es el modelo apropiado para aplicaciones sensibles al retardo o variaciones de ancho de banda, las cuales necesitan de un tratamiento especial.

b) Servicios Integrados. El modelo de Servicios Integrados (IntServ: Integrated Services) provee a las aplicaciones de un nivel garantizado de servicio, negociando parámetros de red, de extremo a extremo. La aplicación solicita el nivel de servicio necesario para ella con el fin de operar apropiadamente, y se basa en la QoS para que se reserven los recursos de red necesarios antes de que la aplicación comience a operar. Estas reservaciones se mantienen en pie hasta que la aplicación termina o hasta que el ancho de banda requerido por ésta sobrepase el límite reservado para dicha aplicación. El modelo IntServ se basa en el Protocolo de Reservación de Recursos (RSVP) para señalar y reservar la QoS deseada para cada flujo en la red. Debido a que la información de estados para cada reserva necesita ser mantenida por cada enrutador a lo largo de la ruta, la escalabilidad para cientos de miles de flujos a través de una red central, típicos de una red óptica, se convierte en un problema.

c) Servicios Diferenciados. Este modelo incluye un conjunto de herramientas de clasificación y mecanismos de cola que proveen a ciertas aplicaciones o protocolos con determinadas prioridades sobre el resto del tráfico en la red. DiffServ cuenta con los enrutadores de bordes para realizar la clasificación de los distintos tipos de paquetes que circulan por la red. El tráfico de red puede ser clasificado por dirección de red, protocolo, puertos, interfaz de ingreso o cualquier

tipo de clasificación que pueda ser alcanzada mediante el uso de listas de acceso, el modelo DiffServ se obtienen varias ventajas. Los enrutadores operan más rápido, ya que se limita la complejidad de la clasificación y el encolado.

Se minimizan el tráfico de señalización y el almacenamiento. En DiffServ, se definen clases de servicio, cada flujo particular de datos es agrupado en un tipo de clase, donde son tratados idénticamente. Los enrutadores internos sólo están interesados del comportamiento por salto (PHB: Per Hop Behavior), marcado en la cabecera del paquete. Esta arquitectura permite a DiffServ rendir mucho mejor en ambientes de bajo ancho de banda, y provee de un mayor potencial que una arquitectura IntServ. Originalmente, para el protocolo IPv4 se diseñó el campo ToS (Type of Service) para capacitar el marcado de paquetes con un nivel de servicio requerido. Esta definición no se utilizó mayormente debido a la ambigüedad de su significado, por lo que más tarde se convirtió en el denominado campo DSCP (Differentiated Services Code Point). Este campo sí tuvo una aceptación global y se asumió una interpretación estándar que permitió a las redes planificar metodologías basándose en ésta. Tal fue el éxito de esta nueva definición, que fue incluida para ofrecer las mismas ventajas en el protocolo IPv6 en el denominado campo TC (Traffic Class).

Una vez que existe la capacidad de marcar los paquetes utilizando DSCP, es necesario proveer del tratamiento apropiado para cada una de estas clases. La colección de paquetes con el mismo valor DSCP circulando hacia una dirección determinada, es llamado Behavior Aggregate (BA). Es así cómo múltiples aplicaciones/ fuentes pueden pertenecer al mismo BA. El PHB se refiere a la programación, encolamiento, limitación y modelamiento del comportamiento de un nodo, basado en el BA perteneciente del paquete. La Assured Forwarding (AF) PHB [2] es la más utilizada en la arquitectura DiffServ. Dentro de esta PHB los 4 grupos AF (llamados clase AF1, AF2, AF3 y AF4 o clases Cisco) son divididos en 3 grupos “olímpicos”: oro, plata y bronce, representando la tendencia a descartar paquetes. Cada paquete será entregado a una clase de servicio mientras se apegue a un perfil de tráfico.

Cualquier exceso de tráfico será aceptado por la red, pero tendrá mayor probabilidad de ser descartado según la clase de servicio y grupo. Cada nodo con DiffServ, deberá implementar alguna forma de reserva de ancho de banda para cada clase AF, y alguna forma de otorgar prioridad para permitir políticas de esta índole.

MÉTODOS DE CALIDAD DE SERVICIO

Existen varios niveles en los cuales se puede proveer de calidad de servicio en una red IP. Uno de ellos es el de contar con una estrategia de manejo de los paquetes en caso de congestión, o evitar que la red alcance este estado, descartando paquetes a medida que estos ingresan a la red.

El “manejo de congestión” es un término general usado para nombrar los distintos tipos de estrategia de encolamiento que se utilizan para manejar situaciones donde la demanda de ancho de banda solicitada por las aplicaciones excede el ancho de banda total de la red, controlando la inyección de tráfico a la red, para que ciertos flujos tengan prioridad sobre otros.

Manejo de Congestión

a) FIFO. Es el tipo más simple de encolamiento, se basa en el siguiente concepto: el primer paquete en entrar a la interfaz, es el primero en salir. Es adecuado para interfaces de alta velocidad, sin embargo, no para bajas, ya que FIFO es capaz de manejar cantidades limitadas de ráfagas de datos. Si llegan más paquetes cuando la cola está llena, éstos son descartados. No tiene mecanismos de diferenciación de paquetes.

b) Fair Queuing. FQ, generalmente conocido como WFQ (Weighted Fair Queueing), es un método automatizado que provee una justa asignación de ancho de banda para todo el tráfico de la red, utilizado habitualmente para enlaces de

velocidades menores a 2048 [Mbps]. WFQ ordena el tráfico en flujos, utilizando una combinación de parámetros. Por ejemplo, para una conversación TCP/IP, se utiliza como filtro el protocolo IP, dirección IP fuente, dirección IP destino, puerto de origen, etc. Una vez distinguidos estos flujos, el enrutador determina cuáles son de uso intensivo o sensibles al retardo, priorizándolos y asegurando que los flujos de alto volumen sean empujados al final de la cola, y los volúmenes bajos, sensibles al retardo, sean empujados al principio de la cola. WFQ es apropiado en situaciones donde se desea proveer un tiempo de respuesta consistente ante usuarios que generen altas y bajas cargas en la red, ya que WFQ se adapta a las condiciones cambiantes del tráfico en ésta. Sin embargo, la carga que significa para el procesador en los equipos de enrutamiento, hace de esta metodología poco escalable, al requerir recursos adicionales en la clasificación y manipulación dinámica de las colas.

c) Priority Queuing. Consiste en un conjunto de colas, clasificadas desde alta a baja prioridad. Cada paquete es asignado a una de estas colas, las cuales son servidas en estricto orden de prioridad. Las colas de mayor prioridad son siempre atendidas primero, luego la siguiente de menor prioridad y así. Si una cola de menor prioridad está siendo atendida, y un paquete ingresa a una cola de mayor prioridad, ésta es atendida inmediatamente. Este mecanismo se ajusta a condiciones donde existe un tráfico importante, pero puede causar la total falta de atención de colas de menor prioridad (starvation).

d) Custom Queuing. Para evadir la rigidez de PQ, se opta por utilizar Encolamiento Personalizado (CQ: Custom Queuing). Permite al administrador priorizar el tráfico sin los efectos laterales de inanición de las colas de baja prioridad, especificando el número de paquetes o bytes que deben ser atendidos para cada cola. Se pueden crear hasta 16 colas para categorizar el tráfico, donde cada cola es atendida al estilo Round-Robin. CQ ofrece un mecanismo más refinado de encolamiento, pero no asegura una prioridad absoluta como PQ. Se utiliza CQ para proveer a tráficos particulares de un ancho de banda garantizado

en un punto de posible congestión, asegurando para este tráfico una porción fija del ancho de banda y permitiendo al resto del tráfico utilizar los recursos disponibles.

e) Class-Based WFQ. WFQ tiene algunas limitaciones de escalamiento, ya que la implementación del algoritmo se ve afectada a medida que el tráfico por enlace aumenta; colapsa debido a la cantidad numerosa de flujos que analizar. CBWFQ fue desarrollada para evitar estas limitaciones, tomando el algoritmo de WFQ y expandiéndolo, permitiendo la creación de clases definidas por el usuario, que permiten un mayor control sobre las colas de tráfico y asignación del ancho de banda. Algunas veces es necesario garantizar una determinada tasa de transmisión para cierto tipo de tráfico, lo cual no es posible mediante WFQ, pero sí con CBWFQ. Las clases que son posibles implementar con CBWFQ pueden ser determinadas según protocolo ACL, valor DSCP, o interfaz de ingreso. Cada clase posee una cola separada, y todos los paquetes que cumplen el criterio definido para una clase en particular son asignados a dicha cola. Una vez que se establecen los criterios para las clases, es posible determinar cómo los paquetes pertenecientes a dicha clase serán manejados.

Si una clase no utiliza su porción de ancho de banda, otras pueden hacerlo. Se pueden configurar específicamente el ancho de banda y límite de paquetes máximos (o profundidad de cola) para cada clase. El peso asignado a la cola de la clase es determinado mediante el ancho de banda asignado a dicha clase.

f) Latencia (LLQ: Low-Latency Queueing). Es una mezcla entre Priority Queueing y Class-Based Weighted-Fair Queueing. Es actualmente el método de encolamiento recomendado para Voz sobre IP (VoIP) y Telefonía IP, que también trabajará apropiadamente con tráfico de videoconferencias. LLQ consta de colas de prioridad personalizadas, basadas en clases de tráfico, en conjunto con una cola de prioridad, la cual tiene preferencia absoluta sobre las otras colas. Si existe tráfico en la cola de prioridad, ésta es atendida antes que las otras colas de prioridad personalizadas. Si la cola de prioridad no está encolando paquetes, se

procede a atender las otras colas según su prioridad. Debido a este comportamiento es necesario configurar un ancho de banda límite reservado para la cola de prioridad, evitando la inanición del resto de las colas. La cola de prioridad que posee LLQ provee de un máximo retardo garantizado para los paquetes entrantes en esta cola, el cual es calculado como el tamaño del MTU dividido por la velocidad de enlace.

Evasión de Congestión

Las metodologías de evasión de congestión se basan en la manera que los protocolos operan, con el fin de no llegar a la congestión de la red. Las técnicas de RED (Random Early Detection) y WRED (Weighted Random Early Detection) evitan el efecto conocido como Sincronización Global. Cuando múltiples conexiones TCP operan sobre un enlace común, todas ellas incrementaran el tamaño de su ventana deslizante a medida que el tráfico llega sin problemas. Este aumento gradual consume el ancho de banda del enlace hasta congestionarlo. En este punto las conexiones TCP experimentan errores de transmisión, lo que hace que disminuyan su tamaño de ventana simultáneamente. Esto conlleva a una sincronización global, donde todos los flujos comienzan a incrementar su tasa de transmisión nuevamente para llegar a otro estado de congestión. Este ciclo es repetitivo, creando picos y valles en la utilización del ancho de banda del enlace. Es debido a este comportamiento que no se utiliza los máximos recursos de la red. Los métodos de evasión de congestión tratan con este tipo de situación, descartando paquetes de forma aleatoria. RED fuerza a que el flujo reduzca el tamaño de su ventana de transmisión, disminuyendo la cantidad de información enviada. A medida que se alcanza el estado de congestión en la red, más paquetes entrantes son descartados con el fin de no llegar al punto de congestión en el enlace.

Lo que limita a estas técnicas de evasión de congestión es que sólo sirve para tráfico basado en TCP, ya que otros protocolos no utilizan el concepto de ventana deslizante.

Modelamiento de Tráfico

Muchas veces es necesario limitar el tráfico saliente en una interfaz determinada, con el fin de administrar eficientemente los recursos de la red. Ante esta necesidad existen dos metodologías de limitación de ancho de banda: Policing y Modelamiento de Tráfico (Traffic Shaping).

Mediante Policing se especifica la limitación a un máximo de tasa de transmisión para una clase de tráfico. Si este umbral es excedido, una de las acciones inmediatas será ejecutada: transmitir, descartar, o remarcar. En otras palabras, no es posible almacenar los paquetes para posteriormente enviarlos, como es el caso de Traffic Shaping. Las técnicas de Modelamiento de Tráfico (Traffic Shaping) son un poco más diplomáticas en el sentido en que operan. En vez de descartar el tráfico que excede cierta tasa determinada, atrasan parte del tráfico sobrante a través de colas, con el fin de modelarla a una tasa que la interfaz remota pueda manejar. El resto del tráfico excedente es inevitablemente descartado. Traffic Shaping (TS) es una buena herramienta en situaciones en las cuales el tráfico saliente debe respetar una cierta tasa máxima de transmisión. Este proceso es realizado independientemente de la velocidad real del circuito. Esto significa que es posible modelar tráfico de Web o Ftp a velocidades inferiores a las del receptor. TS puede hacer uso de las listas de acceso para clasificar el flujo y puede aplicar políticas restrictivas de TS a cada flujo.

Policing descarta o remarca los paquetes en exceso si es que sobrepasan el límite definido. El tráfico que es originado en ráfagas se propaga por la red, no es suavizado como en TS. Controla la tasa de salida mediante descarte de paquetes, por lo que disminuye el retardo por encolamiento. Sin embargo, debido a estos descartes, el tamaño de la ventana deslizante de TCP debe reducirse, afectando el rendimiento global del flujo. En varios casos es necesario utilizar una vía con la velocidad adecuada para transmitir un paquete de alta o baja prioridad. Por ejemplo, si se tienen dos enlaces, uno con mayor velocidad que el otro, sería

lógico plantear la metodología de transmisión de mejor esfuerzo para los paquetes de menor prioridad sobre el enlace de menor velocidad.

A este tipo de diferenciación se le denomina Enrutamiento Basado en Políticas (PBR: Policy Based Routing). La forma de implementarlo es mediante listas de acceso donde se selecciona el tráfico crítico. En la interfaz de ingreso de éste se adjunta un mapa de política, en el cual para el tráfico perteneciente a la lista de acceso creada, se plantea una nueva ruta a seguir (Next Hop) para llegar a su destino.

Manipulación y Clasificación de Tráfico.

Para manipular los tráficos y otorgarles Calidad de Servicio, se utilizan los procedimientos básicos de clasificación y asignación de prioridad, denominados Mapas de Clase y Mapas de Política. Un mapa de clase es un mecanismo para nombrar y aislar un flujo de tráfico específico. Éste define el criterio utilizado para comparar el tráfico para más tarde clasificarlo, el cual puede incluir selecciones mediante ACL estándar o extendida, una lista específica de DSCP, o valores de Precedencia IP. Después que el paquete es confrontado al criterio del mapa de clase, es posible clasificarlo mediante el uso de mapas de política. Un mapa de política especifica en qué clase de tráfico actuará. Las acciones pueden ser: confiar en los valores de CoS (Class of Service), DSCP o Precedencia IP de la clase de tráfico, establecer un valor específico de éstos o especificar las limitaciones de ancho de banda y la acción a tomar cuando el tráfico cae fuera del perfil definido en el mapa de política. Antes que un mapa de política sea efectivo, debe adjuntarse a una interfaz.

SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN

Las telecomunicaciones son una técnica consistente en transmitir un mensaje desde un punto a otro, normalmente con el atributo típico adicional de ser bidireccional. El término telecomunicación cubre todas las formas de

comunicación a distancia, incluyendo telefonía, telegrafía, televisión, radio, transmisión de datos e interconexión de computadoras a nivel de enlace. Telecomunicaciones, es toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, datos, imágenes, voz, sonidos o información de cualquier naturaleza que se efectúa a través de cables, radioelectricidad, medios ópticos, físicos u otros sistemas electromagnéticos.

La telecomunicación puede ser punto a punto, punto a multipunto o teledifusión, que es una forma particular de punto a multipunto que funciona solamente desde el transmisor a los receptores, siendo su versión más popular la radiodifusión.

Los modernos sistemas de comunicación hacen amplio uso de la sincronización temporal. Hasta la reciente aparición del uso de la telefonía sobre IP, la mayor parte de los sistemas de comunicación estaban sincronizados a relojes atómicos o a relojes secundarios sincronizados a la hora atómica internacional, obtenida en la mayoría de los casos vía GPS. Ya no es necesario establecer enlaces físicos entre dos puntos para transmitir la información de un punto a otro. Los hechos ocurridos en un sitio, ocurren a la misma vez en todo el mundo. Nos adentramos en una nueva clase de sociedad en la que la información es la que manda. El conocimiento es poder, y saber algo es todo aquello que se necesita.

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIÓN

En todo sistema de comunicación existen tres elementos básicos (imprescindibles uno del otro): el transmisor, el canal de transmisión y el receptor. Cada uno tiene una función característica.

El Transmisor pasa el mensaje al canal en forma de señal. Para lograr una transmisión eficiente y efectiva, se deben desarrollar varias operaciones de procesamiento de la señal. La más común e importante es la modulación, un proceso que se distingue por el acoplamiento de la señal transmitida a las propiedades del canal, por medio de una onda portadora.

El Canal de Transmisión o medio es el enlace eléctrico entre el transmisor y el receptor, siendo el puente de unión entre la fuente y el destino. Este medio puede ser un par de alambres, un cable coaxial, el aire, etc. Pero sin importar el tipo, todos los medios de transmisión se caracterizan por la atenuación, la disminución progresiva de la potencia de la señal conforme aumenta la distancia.

El Receptor, cuya función es extraer del canal la señal deseada y entregarla al transductor de salida. Como las señales son frecuentemente muy débiles, como resultado de la atenuación, el receptor debe tener varias etapas de amplificación. En todo caso, la operación clave que ejecuta el receptor es la demodulación, el caso inverso del proceso de modulación del transmisor, con lo cual vuelve la señal a su forma original.

La siguiente es una figura que muestra un modelo de un Sistema de Comunicaciones básico.

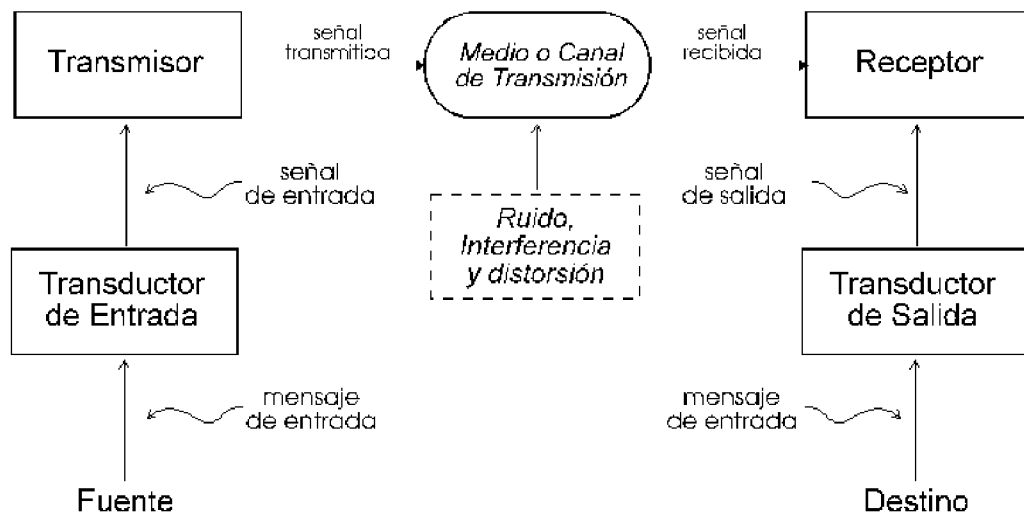


Figura 2.1. Modelo de un Sistema de Comunicaciones.

Posibles imperfecciones en un canal de comunicación son: ruido impulsivo, ruido de Johnson-Nyquist (también conocido como ruido térmico), tiempo de propagación, función de transferencia de canal no lineal, caídas súbitas de la señal (microcortes), limitaciones en el ancho de banda y reflexiones de señal. Muchos

de los modernos sistemas de telecomunicación obtienen ventaja de algunas de estas imperfecciones para, finalmente, mejorar la calidad de transmisión del canal.

SISTEMAS DE TELEFONÍA IP

La Telefonía IP es una tecnología que permite integrar en una misma red - basada en protocolo IP - las comunicaciones de voz y datos. Muchas veces se utiliza el término de redes convergentes o convergencia IP, aludiendo a un concepto un poco más amplio de integración en la misma red de todas las comunicaciones (voz, datos, video, etc.).

Esta tecnología hace ya muchos años que está en el mercado pero no ha sido hasta hace poco que se ha generalizado gracias, principalmente, a la mejora y estandarización de los sistemas de control de la calidad de la voz (QoS) y a la universalización del servicio Internet.

La Telefonía IP utiliza la red de datos IP (su red local) para proporcionar comunicaciones de voz a toda la empresa, a través de una sola red de voz y datos. Esta convergencia de servicios de voz y datos en una sola red implica ventajas como:

- Un menor coste de capital, procedimientos simplificados de soporte y configuración.
- Mayor integración de las ubicaciones remotas y oficinas sucursales en las instalaciones de la red corporativa en un sistema unificado de telefonía, optimización de las líneas de comunicación - la movilidad y el acceso a funcionalidades avanzadas.
- Simplificación de la infraestructura de comunicaciones en la empresa, una única plataforma técnica para voz y datos: Menor inversión, mantenimiento y formación, unificando el cableado voz y datos en Ethernet y brindando la posibilidad de compartir un único punto de red entre PC y Teléfono.

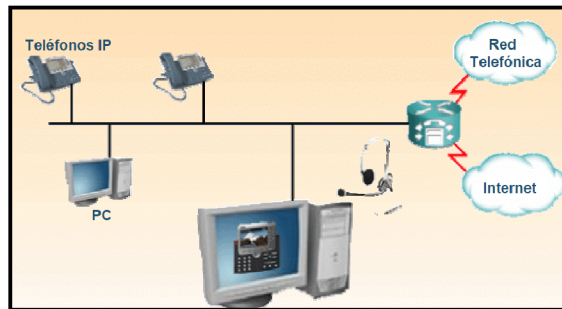


Figura 2.2. Modelo de simplificación de infraestructura de comunicaciones.

- Unificación del sistema de Telefonía entre sedes.

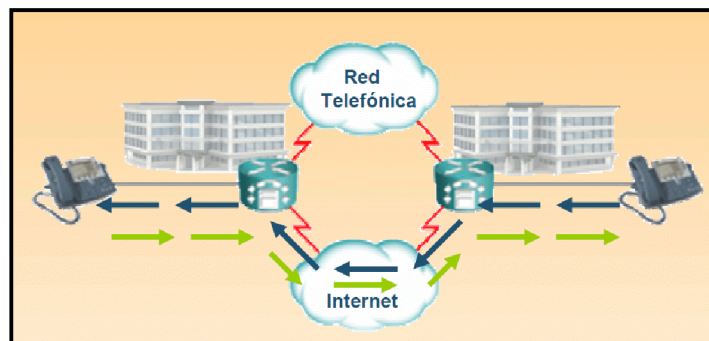


Figura 2.3. Modelo de integración de sedes empresariales.

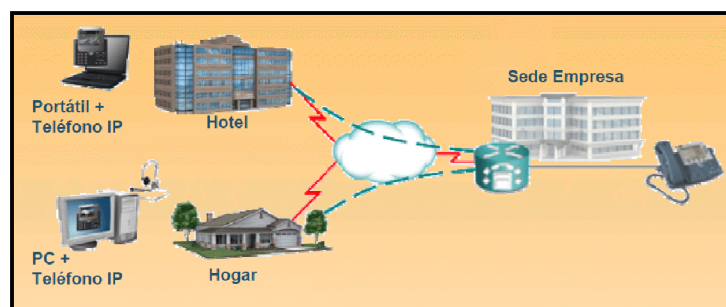


Figura 2.4. Modelo de unificación del Sistema Telefónico.

- Fácil acceso a proveedores VOIP, con llamadas muy económicas y otros servicios avanzados de gran valor pero muy asequibles a cualquier empresa.
- Mejoras funcionales.
- Plan de numeración integrado

- Centralización/Diversificación del puesto de operadora: Las llamadas entrantes pueden dirigirse a cualquier operadora independientemente de su ubicación, siguiendo criterios de disponibilidad o carga de trabajo.
- Gestión centralizada del sistema de telefonía.
- Mejora en la Atención a Clientes.
- Operadora Automática (IVR)
- CTI: Integración con sistemas de gestión (CRM), para llamadas automáticas o identificación datos del cliente por su CLID.
- ACD: Distribución de llamadas entrantes entre agentes comerciales.
- IPCC: Aplicaciones específicas para centros de llamadas (Call Centers) o departamentos comerciales.
- Sistema de correo vocal (Voice Mail) integrado con correo electrónico y directorio.
- Movilidad: posibilidad de acceder a su extensión telefónica (IP) en cualquier punto.
- Reubicación en la red corporativa, en cualquier delegación
- Acceso para Teletrabajo
- Terminales Duales SIP-GSM: Teléfonos móviles que disponen de interfaz WIFI con protocolo SIP, pudiendo logarse a centralita SIP.

Las soluciones de Telefonía IP permiten que las empresas potencien sus inversiones actuales en tecnología y puedan migrar a una red completamente convergente a su propio ritmo.



Figura 2.5. Convergencia de tecnología analógica a IP.

COMPONENTES Y PROTOCOLOS DEL SISTEMA DE TELEFONÍA IP

Los componentes de una red de Telefonía-IP se muestran en la siguiente figura:

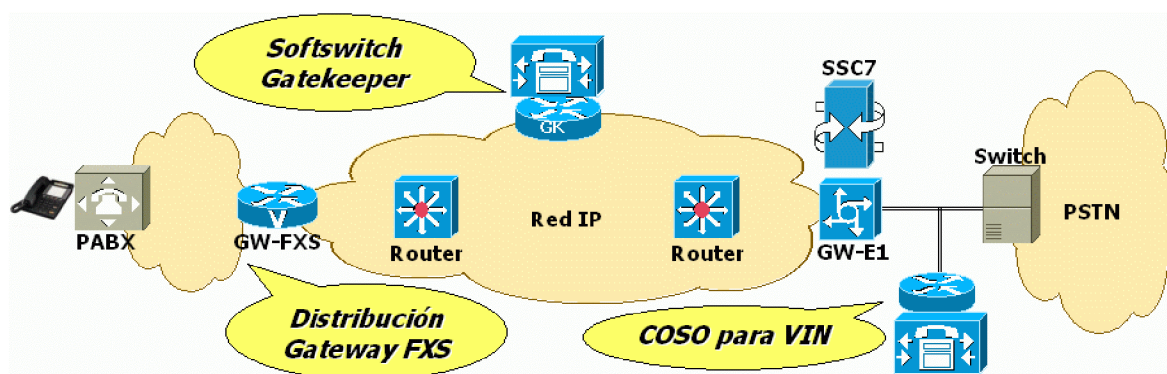


Figura 2.6. Componentes en una red de Telefonía-IP.

Terminales de Usuario: Pueden encontrarse clientes que desean utilizar sus teléfonos convencionales y aquellos que cambian hacia una Telefonía-IP integrada con su LAN. Cuando un cliente desea instalar un servicio integrado de telefonía y datos, la red LAN es donde se conectan los terminales, los elementos de interconexión al exterior (router, proxy o gateway GW) y el gatekeeper GK local. El servicio de Telefonía-IP puede ofrecerse sin necesidad de una LAN, por ejemplo mediante líneas analógicas que se conectan a la vieja PABX del usuario.

En el caso de utilizar la LAN, los terminales se comunican en forma bidireccional en tiempo real. Se utiliza software en la PC o teléfonos dedicados (IP-Phone). De esta forma el mismo terminal de cableado estructurado se utiliza para ambos componentes del escritorio (el teléfono y la PC). Para el caso de utilizar la vieja PABX, se requiere instalar un Gateway de usuario FXS o E1. En IPlan se utiliza el concepto de Nodo de Manzana para la distribución de líneas analógicas FXS.

Gateway GW-FXS: Provee la conectividad entre el mundo IP y el de telefonía convencional. Realizan la emulación de interfaz FXO/FXS (*Foreign Exchange Station/Office*), lo que permite adaptar una PABX a la VoIP. Se conecta a la PABX convencional por un lado y a la red de transporte IP por el otro, lo que permite conectar un usuario convencional a la red de Telefonía-IP pública. Permite la traslación de direcciones desde IP a la ITU E.164 de la red telefónica convencional. Es decir, actúa de interfaz desde la red IP (dirección de 4 bytes) hacia la PSTN (dirección de 16 dígitos decimales).

Gateway GW-E1: Este GW se encuentra entre la red IP y la PSTN para interconectar distintos proveedores de telefonía mediante técnicas de transporte diversas. Entre las funciones del GW se encuentra: la conversión de codificación vocal; la supresión de silencios y señalización DTMF; generar las conexiones RTP; etc.

Gatekeeper GK: Realiza el control para el procesamiento de la llamada en protocolo H.323. Es un software que puede funcionar por ejemplo sobre Linux u otro sistema operativo. Pueden existir varios GK por razones de redundancia y compartir la carga en la red. El principal parámetro del GK es la cantidad de llamadas cursadas en las horas pico. Dicho parámetro se conoce como BHCA (Busy Hour Call Attempts).

MGC (Media Gateway Controller) o Softswitch: Es el control de procesamiento con la red pública PSTN. El MGC es un software que contiene en su interior al GK.

Los MGC pueden colocarse en configuración Failover para protección ante fallas. Los GW son controlados por el MGC mediante el protocolo MGCP (Media Gateway Control Protocol). Como protocolo de señalización hacia la PSTN se utilizan ISUP/TCAP de la serie SS7 o el MFC-R2 para centrales sin facilidad SS7. En las redes de Telefonía-IP públicas, el GK se encuentra integrado al MGC. También se dispone de servidores para RADIUS (para

gestión de seguridad), para LDAP (servicio de directorio y memoria) y para AAA (funciones de autenticación y cobro).

Las funciones del MGC pueden ser realizadas mediante dos técnicas distintas. La primera toma del mundo de la telefonía pública convencional las partes que pueden ser utilizadas (procesador central, memoria, cómputo de tráfico, etc.) y eliminan aquellas que no corresponden (red de conmutación de circuitos). En la segunda, se trata de un software absolutamente nuevo (conocido como Softswitch) que corre sobre una plataforma genérica (por ejemplo, Linux). De acuerdo con la nomenclatura de la norma H.323 el controlador de llamada es el Gatekeeper GK; sin embargo, se ha popularizado también la denominación MGC para una mayor extensión de funciones.

Las nubes IP y PSTN: Los Routers conforman la "nube" IP. Son los componentes que distribuidos en la red IP permiten el enrutamiento de los paquetes entre GW (reemplazan a los centros de conmutación de las PSTN). La PSTN (*Public Switched Telephone Network*) conforma la "nube" de telefonía convencional con conmutación de circuitos.

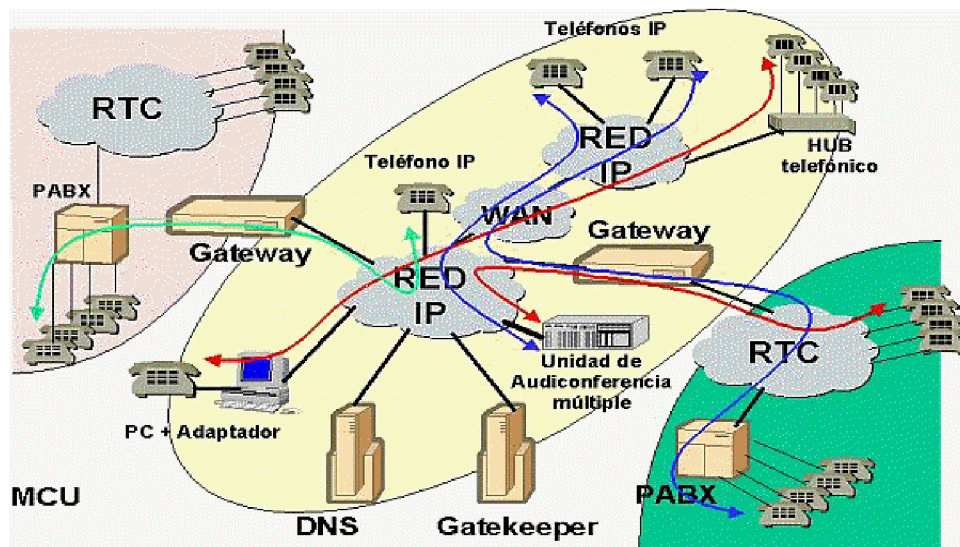


Figura 2.7. Elementos de una aplicación IP.

Protocolos: La Telefonía-IP utiliza como soporte cualquier medio basado en routers y los protocolos de transporte UDP/IP. El modelo de capas diseñado

en 1981 para IP tenía prevista que la voz estuviera soportada sobre protocolos RTP/IP. El modelo actual en cambio, agrega RTP/UDP/IP. Existen varios organismos involucrados en los estándares para la señalización: el ITU-T (que dio lugar a la suite de protocolos H.323, por ejemplo); el ETSI (con el proyecto Tiphon) y el IETF (que administra los protocolos de Internet, SIP por ejemplo).

- **H.323:** Los protocolos de señalización utilizados en Telefonía-IP son de diversos tipos. El ITU-T H.323 es el primero aplicado para acciones dentro de una Intranet fundamentalmente. Es una cobertura para una suite de protocolos como el H.225, H.245 y RAS que se soportan en TCP y UDP. El IETF define otros tipos de protocolos: el MGCP para el control de las gateway a la red pública PSTN y SIP hacia las redes privadas o públicas. La señal vocal se transmite sobre el protocolo de tiempo real RTP (con el control RTPC) y con transporte sobre UDP. El protocolo de reservación de ancho de banda RSVP puede ser de utilidad en conexiones unidireccionales (distribución de señal de broadcasting, por ejemplo).

El VoIP/H.323 comprende a su vez una serie de estándares y se apoya en una serie de protocolos que cubren los distintos aspectos de la comunicación:

- **Direccionamiento:**
 - RAS (Registration, Admission and Status). Protocolo de comunicaciones que permite a una estación H.323 localizar otra estación H.323 a través del Gatekeeper.
 - DNS (Domain Name Service). Servicio de resolución de nombres en direcciones IP con el mismo fin que el protocolo RAS pero a través de un servidor DNS
- **Señalización:**
 - Q.931 Señalización inicial de llamada.

- H.225 Control de llamada: señalización, registro y admisión, y paquetización / sincronización del stream (flujo) de voz.
- H.245 Protocolo de control para especificar mensajes de apertura y cierre de canales para streams de voz.
- Compresión de Voz:
 - Requeridos: G.711 y G.723(Multirate Coder)
 - Opcionales: G.728(LD-CELP), G.729(CS-ACELP) y G.722
- Transmisión de Voz:
 - UDP. La transmisión se realiza sobre paquetes UDP, pues aunque UDP no ofrece integridad en los datos, el aprovechamiento del ancho de banda es mayor que con TCP.
 - RTP (Real Time Protocol). Maneja los aspectos relativos a la temporización, marcando los paquetes UDP con la información necesaria para la correcta entrega de los mismos en recepción.
- Control de la Transmisión:
 - RTP (Real Time Control Protocol). Se utiliza principalmente para detectar situaciones de congestión de la red y tomar, en su caso, acciones correctoras.
- **MGCP:** Otros protocolos competidores con H.323 son MGCP (Media Gateway Control Protocol) y SIP (Session Initiation Protocol). El MGCP es un protocolo que soporta un control de señalización de llamada escalable. El control de calidad de servicio QoS se integra en el gateway GW o en el controlador de llamadas MGC. Este protocolo tiene su origen en el SGCP (de Cisco y Bellcore) e IPDC. Bellcore y Level3 plantearon el MGCP a varios organismos.

El MGCP es un protocolo que permite comunicar al controlador de gateway MGC (también conocido como Call Agent) con las gateway GW de telefonía (hacia la PABX o PSTN). La primera versión 1.0 es de octubre-1999 (RFC-2705). Se trata de un protocolo de tipo master-slave donde el MGC informa las acciones a seguir al GW. Los mensajes MGCP viajan sobre UDP/IP, por la misma red de transporte IP con seguridad IPsec. El formato de trabajo genera una inteligencia externa a la red (concentrada en el MGC) y donde la red de conmutación está formada por los router de la red IP. El GW solo realiza funciones de conversión vocal (analógica o de velocidad digital) y genera un camino RTP entre extremos. La sesión de MGCP puede ser punto-a-punto o multipunto. El protocolo MGCP entrega al GW la dirección IP, el port de UDP y los perfiles de RPT.

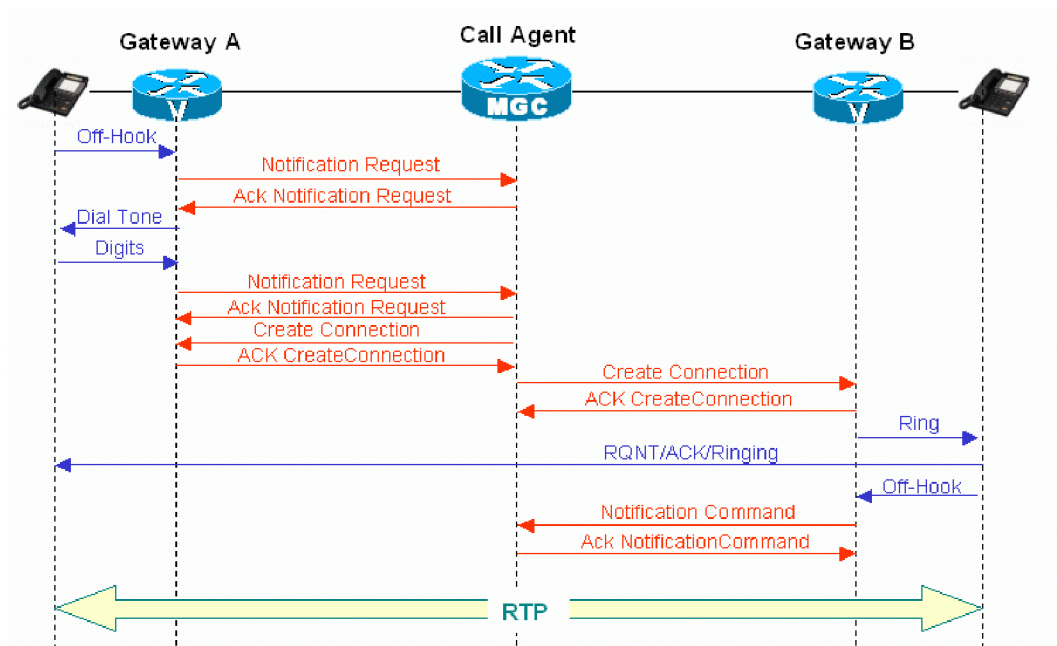


Figura 2.8. Proceso de comunicación con protocolo MGCP.

En la Figura superior se muestra el intercambio de mensajes en el establecimiento de una comunicación con protocolo MGCP.

- SIP:** El IETF ha generado un set de protocolos que simplifican las funciones de H.323, el cual tiene previstas funciones dentro de una red corporativa y en multimedia. SIP es un protocolo más simple que H.323 y está basado en HTTP. En H.323 se utiliza el GK, mientras que en SIP se usa el SIP-Server, el cual tiene mejores aspectos de escalabilidad para grandes redes. En H.323 para grandes redes se recurre a definir zonas de influencia y colocar varios GK. Para la interoperatividad de protocolos se requiere un GW de borde que realice la conversión. SIP es un protocolo basado en texto (de acuerdo con RFC-2279 para la codificación del set de caracteres) y el mensaje basado en http (RFC-2068 para la semántica y sintaxis). La dirección usada en SIP se basa en un localizador URL (Uniform Resource Locator) con un formato del tipo sip:tatiana@192.190.132.31 (o mediante el dominio Domain: teleinfo.com.ec). De esta forma SIP integra su servicio a la Internet. En este modelo se requiere el auxilio de un server de resolución de dominio DNS (Domain Name Server).

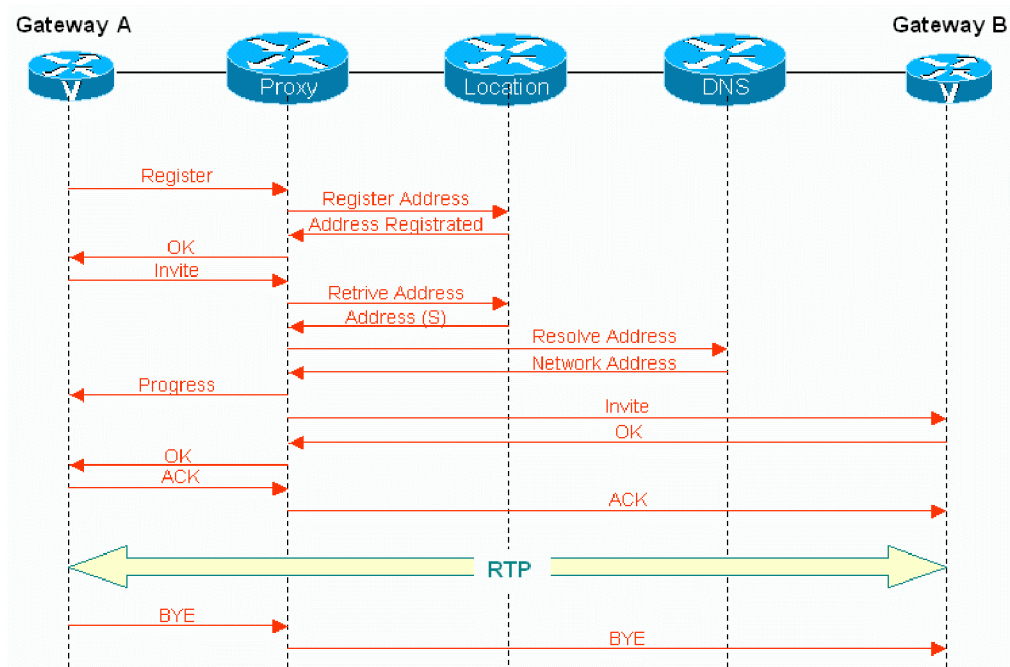


Figura 2.9. Intercambio de mensajes para establecer una comunicación con protocolo

- Serie I Red digital de servicios integrados (RDSI).
- Serie M Red de Gestión de las Telecomunicaciones (RGT) y mantenimiento de redes: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales.

✓ **Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos (IEEE)**

Asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización, entre otras cosas. Es la mayor asociación internacional formada por profesionales de las nuevas tecnologías, como ingenieros electricistas, ingenieros en electrónica, científicos de la computación, ingenieros en informática, ingenieros en biomédica, ingenieros en telecomunicación e Ingenieros en Mecatrónica. A través de sus miembros, el IEEE es una autoridad líder y de máximo prestigio en las áreas técnicas derivadas de la eléctrica original: desde ingeniería computacional, tecnologías biomédica y aeroespacial, hasta las áreas de energía eléctrica, control, telecomunicaciones y electrónica de consumo, entre otras. Algunos de sus estándares son:

- IEEE 488
- IEEE 802
- IEEE 802.11
- IEEE 754
- IEEE 830

✓ **Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI)**

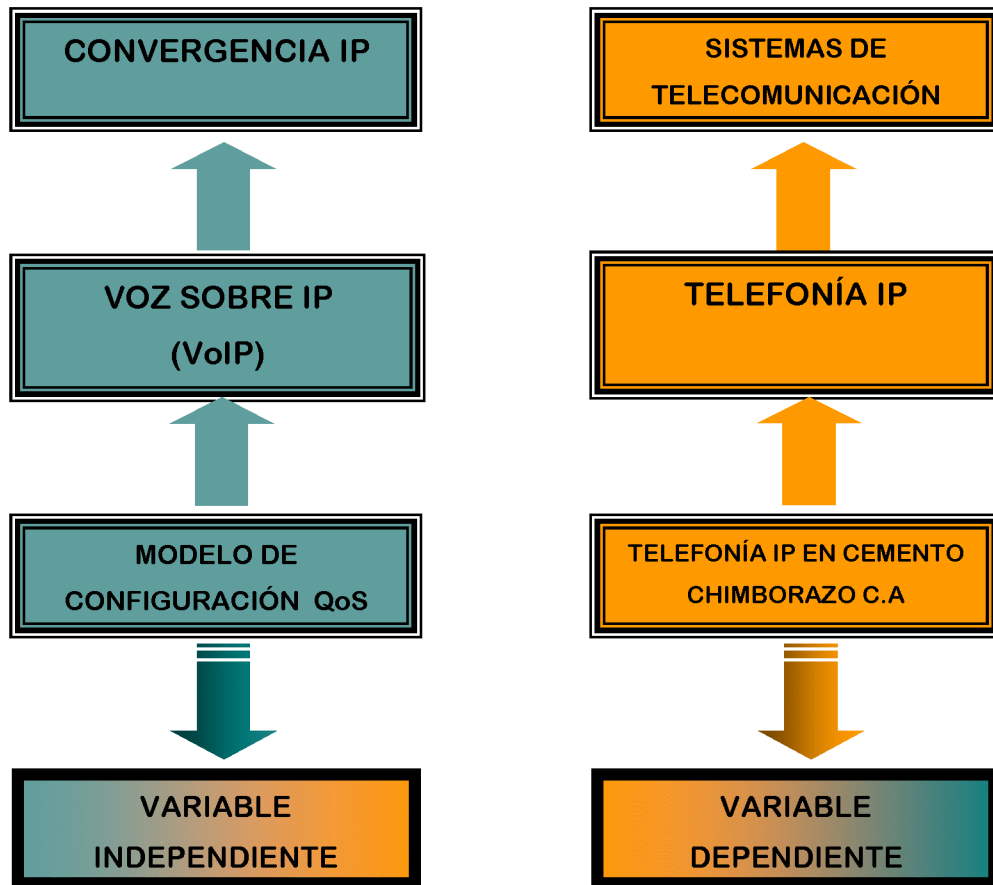
ANSI, por sus siglas en inglés: American National Standards Institute es una organización que supervisa el desarrollo de estándares para productos,

servicios, procesos y sistemas en los Estados Unidos. ANSI es miembro de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) y de la Comisión Electrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission, IEC). Esta organización coordina estándares del país estadounidense con estándares internacionales, de tal modo que los productos de dicho país puedan usarse en todo el mundo. Los estándares ANSI aseguran que la fabricación de objetos cotidianos, se realice de tal forma que dichos objetos puedan usar complementos fabricados en cualquier parte del mundo por empresas ajenas al fabricante original. Esta organización aprueba estándares relacionados con Sistemas de Telecomunicación.

✓ **Internet Engineering Task Force (IETF)**

Internet Engineering Task Force (IETF) es una organización internacional abierta de normalización, que tiene como objetivos el contribuir a la ingeniería de Internet, actuando en diversas áreas, como transporte, encaminamiento, seguridad. La IETF es mundialmente conocida por ser la entidad que regula las propuestas y los estándares de Internet, conocidos como RFC. Se la considera como la organización con más autoridad para establecer modificaciones de los parámetros técnicos bajo los que funciona la red. La IETF se compone de técnicos y profesionales en el área de redes, tales como investigadores, diseñadores de red, administradores, vendedores, entre otros.

Organizador Lógico de Variables



Hipótesis

Existe un Modelo de configuración idóneo de QoS que mejora el rendimiento del tráfico de voz del Sistema de Telefonía IP de la Empresa Cemento Chimborazo C.A.

Señalamiento de Variables

Variable Independiente: Modelo IDÓNEO de Calidad de Servicio (QoS)

Variable Dependiente: Telefonía IP

CAPITULO III

METODOLOGÍA

Enfoque

Modalidad de Investigación

La investigación fue de tipo cuasi-experimental porque se determinó las relaciones causa-efecto del problema en estudio. Se manipuló los factores experimentales aproximándonos a los resultados de la investigación, a sabiendas de que existieron ciertas variables cuya manipulación no pudo darse de forma absoluta.

Además, la investigación fue de tipo documental bibliográfica porque se trabajó sobre el análisis de los indicadores existentes para la Calidad de Servicio (QoS) sobre el tráfico de voz, y se exploró con software de monitoreo con el cual se obtuvo parámetros de evaluación que condujeron a mejorar el performance de la Telefonía IP.

Niveles o Tipos

Estuvo dentro del nivel descriptivo porque se hizo un levantamiento de la información de los parámetros de Calidad de Servicio existentes en la Telefonía IP de la empresa Cemento Chimborazo C.A. Mientras que se optó por una investigación de tipo explicativo al momento de proponer una posible solución en atención a las afectaciones de la Calidad de Servicio sobre dicho sistema.

Operacionalización de Variables

V.I.: MODELO IDONEO DE QoS

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS BÁSICOS	TÉCNICAS / INSTRUMENTOS
Es el resultado del proceso de generar una representación del problema en estudio, a fin de analizar, explorar, controlar y predecir esos fenómenos o procesos.	Voz	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad • Disponibilidad 	¿Qué parámetros debo medir para determinar el modelo óptimo en la QoS del tráfico de voz a fin de lograr el éxito en el uso de un sistema de telefonía ip?	Observación / Guías de Observación Entrevista / Guía de Entrevista

V.D.: Sistema de Telefonía IP

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	HERRAMIENTAS
Serie de servicios y protocolos asociados con el transporte de comunicación de voz por Internet independientemente de los dispositivos del	Comunicación de voz	<ul style="list-style-type: none"> • Retardo de TX • Varianza de los RT • Paquetes perdidos • AB 	¿Qué características se deben considerar para poder definir el rendimiento de servicio en un	Observación / Guías de Observación Entrevista / Guía de Entrevista

punto extremo.		utilizado	sistema de Telefonía IP? ¿Qué protocolos utiliza el sistema de Telefonía IP en la Empresa Cemento Chimborazo C.A?	
----------------	--	-----------	---	--

Plan para Recolección de la Información

Haciendo uso de las diferentes herramientas señaladas en la operacionalización de variables se esquematizó la información recogida.

En el caso del software de monitoreo y de los analizadores de red aplicados en los laboratorios que simularon una situación real del problema, se obtuvo datos de mediciones que permitieron realizar cálculos estadísticos que estimaron la variabilidad de cada uno de los parámetros de estudio.

Plan para el Procesamiento de la Información

Una vez determinada la metodología de cálculo para el análisis de los parámetros influyentes en la Calidad de Servicio de los sistemas de Telefonía IP se procedió a aplicar los datos, mediciones, etc., en un sistema montado en un laboratorio. Los resultados proporcionados fueron revisados, interpretados y analizados. Por objeto de la elaboración de conclusiones se realizaron cuadros comparativos según los resultados obtenidos.

Se tomó en cuenta para la evaluación de todos los parámetros el apoyo del marco teórico según el campo correspondiente.

Luego de realizada la comprobación de la hipótesis se propuso recomendaciones a fin de lograr el cumplimiento de una posible solución al problema estudiado.

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO ACTUAL

Cemento Chimborazo C.A. a través de su infraestructura de red, actualmente permite interconectar a 75 usuarios repartidos en la Planta Industrial de Riobamba y 10 usuarios en sus sucursales en las ciudades de Ambato y Quito. La forma de interconexión de la Planta Industrial con sus sucursales es a través de canales dedicados de 128 Kbps y 512 Kbps respectivamente. Las aplicaciones que manejan son principalmente: ERP JDEdwards, correo electrónico, video vigilancia IP, Telefonía IP y la navegación usual en el Internet, tomando en cuenta que todos estos servicios se encuentran centralizados en Riobamba.

El presente estudio se centró exclusivamente en la aplicación de Telefonía IP que maneja Cemento Chimborazo C.A. con sus sucursales; ya que es la aplicación que se ve severamente afectada en cuanto a calidad de servicio al momento de realizar llamadas desde la Planta Industrial de Riobamba a sus sucursales de Quito y Ambato y viceversa.

La siguiente figura muestra el detalle de los enlaces dedicados que tiene la Planta Industrial de Cemento Chimborazo C.A con sus sucursales, en ella se aprecia el número total de usuarios en cada uno de los sitios y el Ancho de Banda que tiene cada enlace.

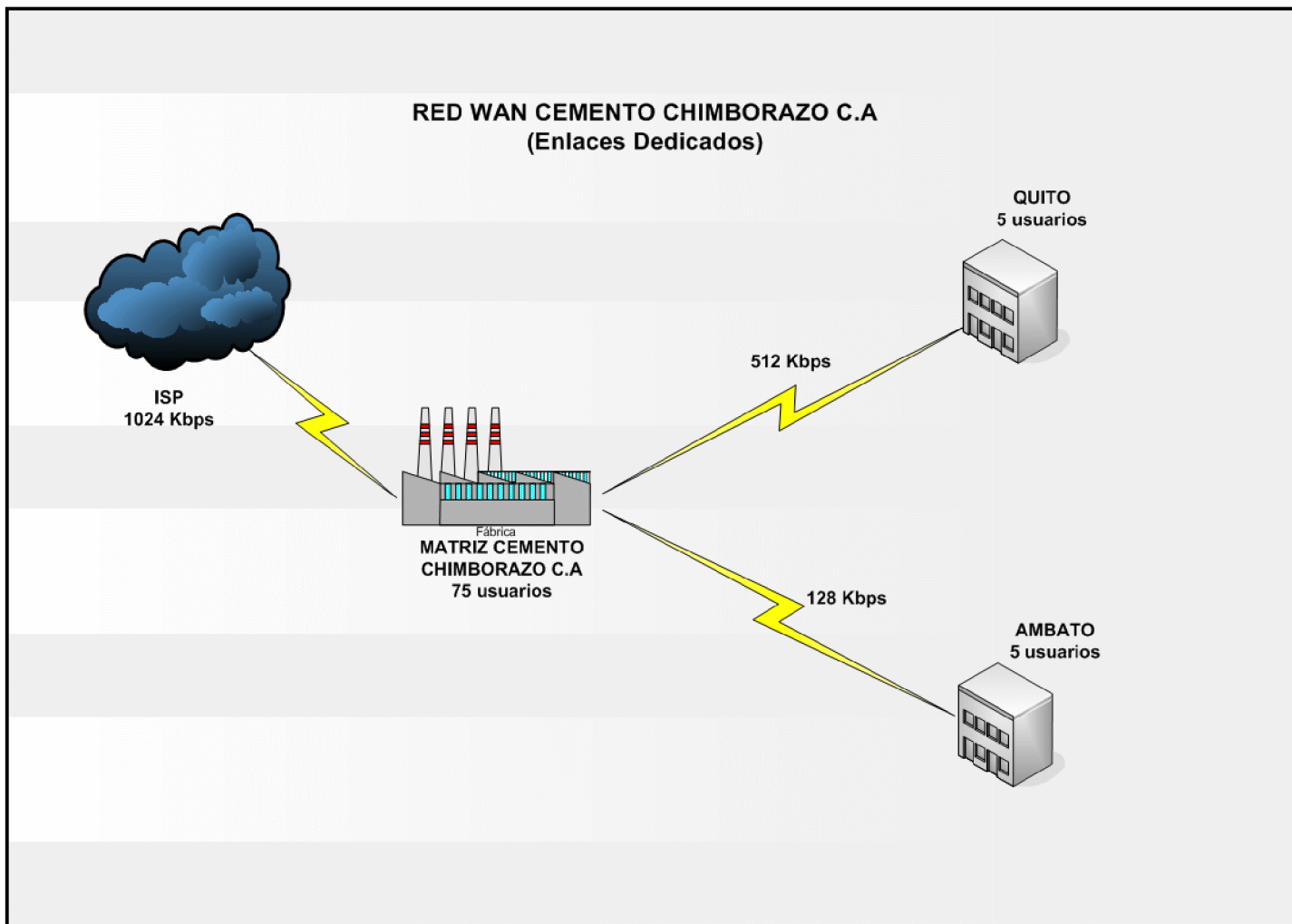


Figura 4.1. Red WAN Cemento Chimborazo C.A.

La Figura 4.2. indica como está establecida la Red LAN de la Planta Industrial de Cemento Chimborazo C.A., mostrando su diagrama físico y jerárquico.

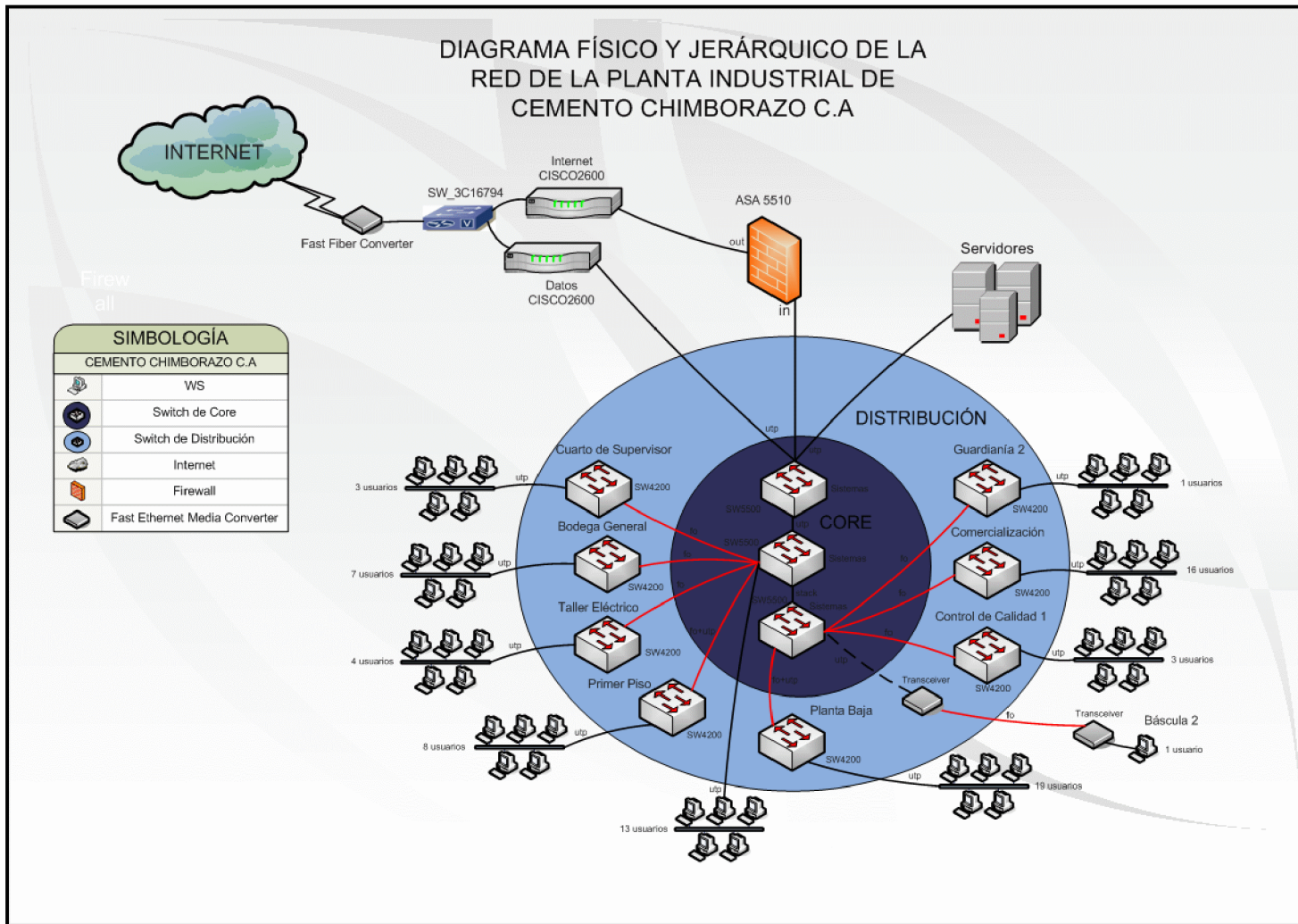


Figura 4.2. Red LAN Cemento Chimborazo C.A.

MONTAJE DE LABORATORIO

Para la obtención de los valores cuantitativos de cada uno de los indicadores de la variable dependiente, se implementó un escenario de simulación, el cual al ser una réplica de la realidad, permitió probar el rendimiento de extremo a extremo del servicio telefónico que percibe el usuario final.

Más adelante se resumen las características de cada mecanismo estudiado y se presentan resultados obtenidos en la utilización de éstos.

El montaje del escenario se lo realizó con Routers Cisco, los mismos que se encargaron de enviar y rutear los paquetes de voz y datos que se transmitieron en tiempo real. Estos routers representaron los puntos de enlace entre la Planta Industrial de Cemento Chimborazo C.A. con sus sucursales e ISP.

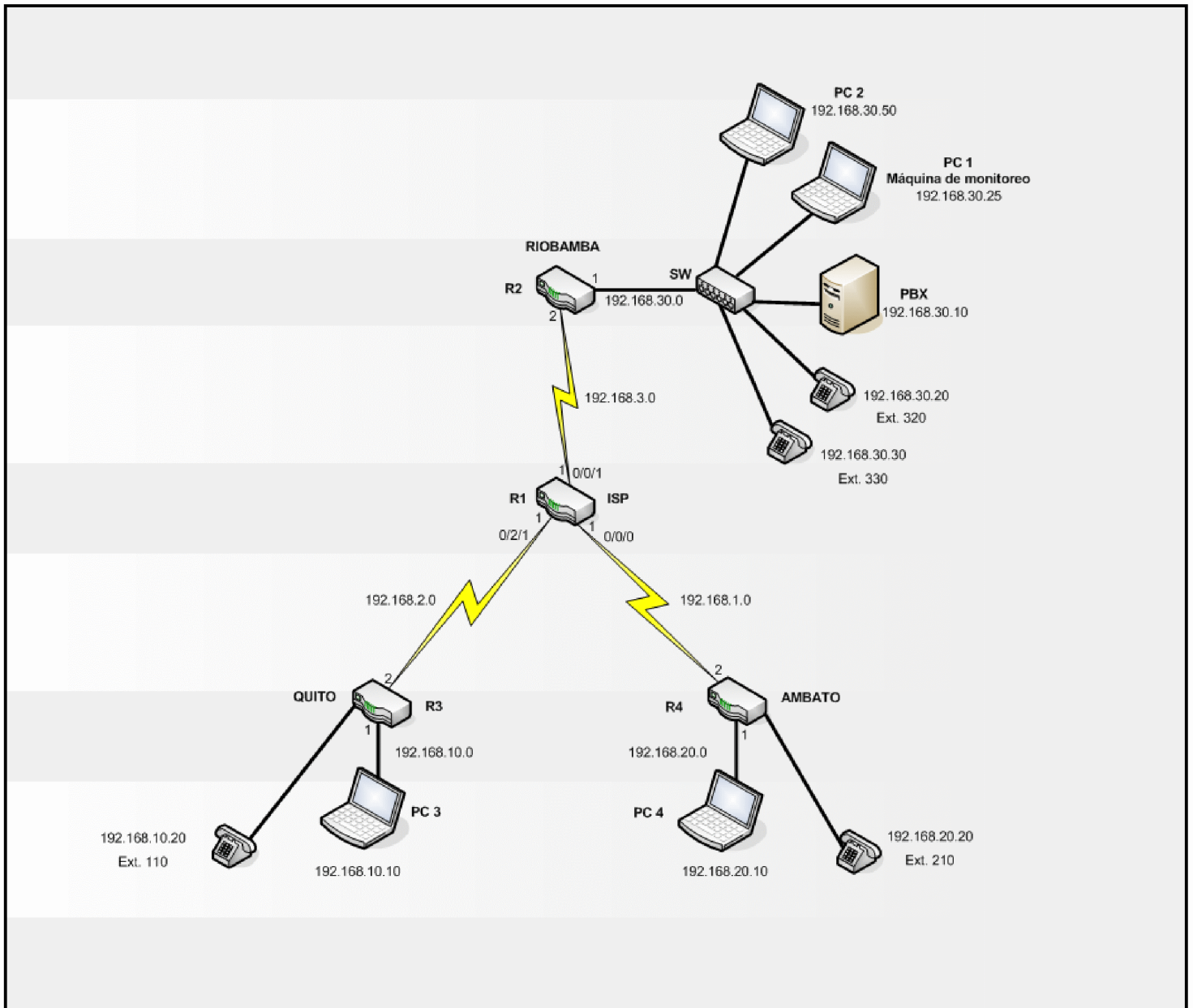


Figura 4.3. Escenario de Pruebas

El detalle de los **EQUIPOS** utilizados en el escenario montado se describe a continuación:

EQUIPOS	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
Router CISCO 2800 Series	1	R1= Router ISP
Router CISCO 1700 Series	3	R2= Router Riobamba
		R3 = Router Quito
		R4 = Router Ambato
PBX CISCO	1	Central Telefónica
Switch CISCO	1	SW = Switch Riobamba
PCS	4	PC1 = Host de monitoreo Riobamba
		PC2 = Host emulador de red Riobamba
		PC3 = Host emulador de red Quito
		PC4 = Host emulador de red Ambato
Teléfonos IP CISCO	4	Ext. 320 = Teléfono 1 IP Riobamba
		Ext. 330 = Teléfono 2 IP Riobamba
		Ext. 110 = Teléfono 3 IP Ambato
		Ext. 210 = Teléfono 4 IP Quito
Cables Seriales DTE	3	Enlaces entre routers
Cables Seriales DCE	3	Enlaces entre routers

Tabla 4.1. Descripción de equipos utilizados en escenario montado.

Como se puede observar en la Figura 4.3. el Router de Riobamba tiene una conexión hacia un switch, el cual tuvo que ser configurado para que permita pasar todo el tráfico a la máquina de monitoreo. A este mismo equipo se conectaron la Central Telefónica IP CISCO, dos teléfonos IP CISCO y un host que fue el encargado de emular el tráfico de red en Riobamba.

De igual forma en los routers de Quito y Ambato se conectaron hosts emuladores de tráfico de red y los teléfonos IP (uno en cada sitio).

La conexión entre routers se la realizó mediante la utilización de cables seriales DTE y DCE, los mismos que simularon los enlaces WAN, vale recalcar, que cuando se realiza un montaje de este tipo en un laboratorio, el Ancho de Banda máximo que se obtiene es de 128 kbps por la limitación que se tiene con el cable.

Pero como para esta simulación se necesitaba enlaces de 128 kbps y 512 kbps, se tuvo que compensar el momento en que se cargó el tráfico de red, realizando una carga proporcional a lo que se tendría con cada uno de los enlaces.

El plan de direccionamiento diseñado para el escenario de pruebas se describe en la siguiente tabla.

EQUIPOS	DIRECCIÓN IP	MASK	DEFAULT GATEWAY
R1-R2	192.168.3.0	255.255.255.0	
R1-R3	192.168.2.0	255.255.255.0	
R1-R4	192.168.1.0	255.255.255.0	
LAN R2	192.168.30.0	255.255.255.0	192.168.30.1
LAN R3	192.168.10.0	255.255.255.0	192.168.10.1
LAN R4	192.168.20.0	255.255.255.0	192.168.20.1
PBX	192.168.30.10	255.255.255.0	192.168.30.1
Teléfono 1	192.168.30.20	255.255.255.0	192.168.30.1
Teléfono 2	192.168.30.30	255.255.255.0	192.168.30.1
Teléfono 3	192.168.10.20	255.255.255.0	192.168.10.1
Teléfono 4	192.168.20.20	255.255.255.0	192.168.20.1
Host Monitoreo	192.168.30.25	255.255.255.0	192.168.30.1
Host 2	192.168.30.50	255.255.255.0	192.168.30.1
Host 3	192.168.10.10	255.255.255.0	192.168.10.1
Host 4	192.168.20.10	255.255.255.0	192.168.20.1

Tabla 4.2. Plan de direccionamiento para los escenarios de prueba.

Para que los routers CISCO simulen los puntos remotos de la red de Cemento Chimborazo C.A., se tuvo que realizar configuraciones partiendo del siguiente ordenamiento:

1. Configuración de interfaces seriales.

2. Asignación de direccionamiento IP
3. Configuración de enrutamiento IP
4. Configuración de Gestión de colas

El detalle del **SOFTWARE** utilizado en el escenario montado es el siguiente:

SOFTWARE	DESCRIPCIÓN
Cisco PBX Express	PBX (Central Telefónica)
Wireshark	Es un analizador de protocolos de red utilizado para realizar análisis y solucionar problemas en redes de comunicaciones para desarrollo de software y protocolos.
VQManager	Es una potente herramienta de monitorización de VoIP basada en web para las redes de VoIP. Puede monitorizar cualquier dispositivo o agente que soporte SIP, RTP entre otros.

Tabla 4.3. Descripción del software utilizado en escenario de pruebas.

DETERMINACIÓN DE LOS INDICADORES.

Para el análisis de la variable dependiente planteada en el presente trabajo de investigación, se consideró el estudio de cuatro indicadores: **Ancho de banda**, **Jitter**, **Retardo** y **Número de Paquetes (enviados y perdidos)** que nos permitieron evaluar los distintos tipos de **encolamiento de paquetes** que ayudaron a determinar la mejor configuración de Calidad de Servicio (QoS) en nuestro caso

de estudio. Estos indicadores son parámetros de transmisión básicos que permiten valorar el transporte del tráfico VoIP.

Los indicadores mencionados fueron evaluados para tres tipos de encolamiento, que son los más usados y recomendados por CISCO en redes WAN.

En esta sección se detallan las características de los escenarios escogidos para el análisis por simulación.

ESCENARIO 1: TELEFONÍA IP SIN APLICAR QoS (con tráfico de red)

En este escenario se probó el sistema de Telefonía IP sin aplicar ningún tipo de encolamiento de paquetes, esto, para poder tener un dato inicial de comparación con las demás técnicas de QoS que se probó.

Para esta prueba se simuló el tráfico de red que normalmente se tendría con el resto de aplicaciones a parte de la telefonía, y se realizaron dos llamadas simultáneas desde Riobamba a Ambato y Riobamba a Quito. Esta simulación se la trató de hacer de manera equivalente a lo que representaría la realidad, esto es, con carga de tráfico en la red y con llamadas telefónicas simultáneas. Nuevamente se aclara que en nuestro escenario de prueba los enlaces WAN tienen un Ancho de Banda de 128 Kbps cada uno, que es el máximo permitido para realizar pruebas en un laboratorio, debido al cable DCE que se utiliza para los enlaces.

La carga de red simulada se la distribuyó de la siguiente manera:

- Ambato – Riobamba → Transmisión de datos equivalente a 5K
- Quito – Riobamba → Transmisión de datos equivalente a 5K
- Riobamba – Ambato → Transmisión de datos equivalente a 2,5 K
- Riobamba – Quito → Transmisión de datos equivalente a 2,5 K

- Dos llamadas telefónicas simultáneas entre sucursales.

El tiempo de duración de esta prueba fue en promedio de 3 minutos. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

		JITTER(ms)	PAQUETES (u)		DURACIÓN DE LLAMADA (s)	AB(kbps)	RETARDO (ms)
			ENVIADOS	PERDIDOS			
Llamada 1	Ambato-Riobamba	19,67	11187	4565	224,65	52,62	14,26
	Riobamba-Ambato	1,43	11170	225	223,65	79,96	19,63
	Promedio	10,55	11179	2395	224,15	66,29	16,51
Llamada 2	Riobamba-Quito	1,58	9565	225	191,28	79,88	19,54
	Quito- Riobamba	21,77	9576	4349	192,62	45,96	13,83
	Promedio	11,68	9571	2287	191,95	62,92	16,19

Tabla 4.4. Datos obtenidos Escenario 1.

Estos datos se obtuvieron tras monitorear el tráfico de voz y datos de la red durante tres minutos, haciendo uso de las Herramientas Whireshark y VQManager

ESCENARIO 2: TELEFONÍA IP APLICANDO WRED & CBWFQ (con tráfico de red)

En este escenario se probó el sistema de Telefonía IP aplicando WRED & CBWFQ (Weighted Random Early Detection & Class-Based Weighted Fair Queuing) que son dos tipos de encolamiento que se complementan al momento de aplicar Calidad de Servicio (QoS). El CBWFQ garantiza la reserva de un porcentaje de Ancho de Banda para el tráfico de telefonía que interesa priorizar, y el WRED asegura que el tráfico TCP no sea enviado antes que el tráfico de telefonía, que ya tenía reservado un Ancho de Banda.

De igual manera para esta prueba se simuló el tráfico de red que normalmente se tendría con el resto de aplicaciones a parte de la telefonía, realizando además dos llamadas simultáneas desde Riobamba a Ambato y Riobamba a Quito.

La carga de red simulada se la distribuyó de la siguiente manera:

- Ambato – Riobamba → Transmisión de datos equivalente a 5K
- Quito – Riobamba → Transmisión de datos equivalente a 5K
- Riobamba – Ambato → Transmisión de datos equivalente a 2,5 K
- Riobamba – Quito → Transmisión de datos equivalente a 2,5 K
- Dos llamadas telefónicas simultáneas entre sucursales.

El tiempo de duración de esta prueba fue en promedio de 3 minutos. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

		JITTER(ms)	PAQUETES (u)		DURACIÓN DE LLAMADA (s)	AB(kbps)	RETARDO (ms)
			ENVIADOS	PERDIDOS			
Llamada 1	Ambato-Riobamba	18,5	9368	3555	188,54	53,82	14,59
	Riobamba-Ambato	0,61	9351	0	187,00	80,13	20,00
	Promedio	9,555	9360	1778	187,77	66,97	16,86
Llamada 2	Riobamba-Quito	0,55	9186	0	183,70	80,07	20,00
	Quito- Riobamba	18,58	9188	3613	183,77	53,60	14,36
	Promedio	9,57	9187	1807	183,74	66,84	16,71

Tabla 4.5. Datos obtenidos Escenario 2.

Estos datos se obtuvieron tras monitorear con la Herramienta Whireshark y VQManager el tráfico de voz y datos de la red durante un tiempo promedio de tres minutos.

ESCENARIO 3: TELEFONÍA IP APLICANDO LLQ (con tráfico de red)

En este escenario se probó el sistema de Telefonía IP aplicando LLQ (Low Latency Queueing) que es un tipo de encolamiento que mezcla PQ (Priority Queueing) y CBWFQ (Class-Based Weighted Fair Queueing), resultando en un método que consta de colas de prioridad personalizadas, basadas en clases de

tráfico, en conjunto con una cola de prioridad, la misma que tiene preferencia absoluta sobre el resto de colas.

Al igual que en los escenarios anteriores el tráfico de red simulado fue el siguiente:

- Ambato – Riobamba → Transmisión de datos equivalente a 5K
- Quito – Riobamba → Transmisión de datos equivalente a 5K
- Riobamba – Ambato → Transmisión de datos equivalente a 2,5 K
- Riobamba – Quito → Transmisión de datos equivalente a 2,5 K
- Dos llamadas telefónicas simultáneas entre sucursales.

El tiempo de duración de esta prueba fue en promedio de 3 minutos. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

		JITTER(ms)	PAQUETES (u)		DURACIÓN DE LLAMADA (s)	AB(kbps)	RETARDO (ms)
			ENVIADOS	PERDIDOS			
Llamada 1	Ambato-Riobamba	0,61	10064	0	201,26	80,15	19,61
	Riobamba-Ambato	18,66	10068	4216	202,47	50,95	19,71
	Promedio	9,64	10066	2108	201,87	201,87	19,66
Llamada 2	Riobamba-Quito	18,89	9103	3896	182,66	47,72	19,67
	Quito- Riobamba	0,54	9086	0	181,71	80,04	19,61
	Promedio	9,72	9095	1948	182,19	182,19	19,64

Tabla 4.6. Datos obtenidos Escenario 3.

ESCENARIO 4: TELEFONÍA IP APLICANDO IP RTP PRIORITY (con tráfico de red)

En el escenario 4 se probó el sistema de Telefonía IP aplicando otra técnica de encolamiento que es la IP RTP Priority.

IP RTP Priority, nos presenta un esquema de prioridad estricto de encolamiento para los datos sensibles de envío como son los de voz. El tráfico de voz es identificado por el protocolo que maneja que es el RTP con sus respectivos puertos; de esta forma prioriza la preferencia en tráficos que no son de voz.

Al igual que en los escenarios anteriores el tráfico de red simulado fue el siguiente:

- Ambato – Riobamba → Transmisión de datos equivalente a 5K
- Quito – Riobamba → Transmisión de datos equivalente a 5K
- Riobamba – Ambato → Transmisión de datos equivalente a 2,5 K
- Riobamba – Quito → Transmisión de datos equivalente a 2,5 K
- Dos llamadas telefónicas simultáneas entre sucursales.

El tiempo de duración de esta prueba fue en promedio de 3 minutos. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

		JITTER(ms)	PAQUETES (u)		DURACIÓN DE LLAMADA (s)	AB(kbps)	RETARDO (ms)
			ENVIADOS	PERDIDOS			
Llamada 1	Ambato-Riobamba	0,47	9327	0	186,53	80,07	20,00
	Riobamba-Ambato	14,06	9318	6519	186,43	26,24	11,77
	Promedio	7,27	9323	3260	186,48	53,15	14,82
Llamada 2	Riobamba-Quito	15,33	9168	6923	183,28	22,56	11,39
	Quito- Riobamba	0,45	9142	0	182,82	80,05	20,00
	Promedio	7,89	9155	3462	183,05	51,30	14,51

Tabla 4.7. Datos obtenidos Escenario 4.

Estos datos se obtuvieron tras monitorear el tráfico de voz y datos de la red durante un tiempo promedio de tres minutos con la Herramienta Whireshark y VQManager.

A continuación se presenta cuatro escenarios más aplicando las mismas técnicas de encolamiento descritas en los escenarios anteriores, con la única diferencia que no están con carga en la red, es decir, en estos escenarios solo se simuló con

las dos llamadas simultáneas de Riobamba a Ambato y Riobamba a Quito. Dicho de otra forma, en estos escenarios se trabajó sólo con tráfico RTP, que sería un entorno ideal para la telefonía IP.

ESCENARIO 5: TELEFONÍA IP SIN APLICAR QoS (sin tráfico de red)

A continuación se presenta la tabla de resultados obtenidos tras monitorear el tráfico RTP con las Herramientas Wireshark y VQManager durante tres minutos promedio:

		JITTER(ms)	PAQUETES (u)		DURACIÓN DE LLAMADA (s)	AB (kbps)	RETRASO (ms)
			ENVIADOS	PERDIDOS			
Llamada 1	Ambato-Riobamba	0,74	9693,00	0,00	193,84	80,13	20,00
	Riobamba-Ambato	5,94	9691,00	1296,00	194,72	71,10	20,09
	Promedio	3,34	9692,00	648,00	194,28	75,61	20,05
Llamada 2	Riobamba-Quito	0,65	9390,00	0,00	187,78	80,06	20,00
	Quito- Riobamba	4,52	9384,00	3523,00	187,65	53,48	20,00
	Promedio	2,59	9387,00	1761,50	187,72	66,77	20,00

Tabla 4.8. Datos obtenidos Escenario 5.

ESCENARIO 6: TELEFONÍA IP APLICANDO WRED & CBWFQ (sin tráfico de red)

Debido a que la descripción de la técnica de encolamiento utilizada se realizó en el escenario 2, a continuación se presenta la tabla de resultados obtenidos tras monitorear el tráfico RTP con las Herramientas Wireshark y VQManager durante tres minutos promedio:

		JITTER(ms)	PAQUETES (u)		DURACIÓN DE LLAMADA (s)	AB (kbps)	RETARDO (ms)
			ENVIADOS	PERDIDOS			
Llamada 1	Ambato-Riobamba	0,72	9365,00	0,00	187,28	80,13	20,00
	Riobamba-Ambato	3,81	9371,00	3807,00	188,33	51,03	20,10
	Promedio	2,27	9368,00	1903,50	187,81	65,58	20,05
Llamada 2	Riobamba-Quito	0,71	9205,00	0,00	184,08	89,07	20,00
	Quito- Riobamba	6,53	9207,00	831,00	184,12	74,92	20,00
	Promedio	3,62	9206,00	415,50	184,10	82,00	20,00

Tabla 4.9. Datos obtenidos Escenario 6.

ESCENARIO 7: TELEFONÍA IP APLICANDO LLQ (sin tráfico de red)

La descripción de la técnica de encolamiento utilizada se la realizó en el escenario 3, a continuación se presenta la tabla de resultados obtenidos tras monitorear el tráfico RTP con las Herramientas Wireshark y VQManager durante tres minutos promedio:

		JITTER(ms)	PAQUETES (u)		DURACIÓN DE LLAMADA (s)	AB (kbps)	RETARDO (ms)
			ENVIADOS	PERDIDOS			
Llamada 1	Ambato-Riobamba	0,74	9693,00	0,00	193,84	80,13	20,00
	Riobamba-Ambato	5,94	9691,00	1296,00	194,72	71,10	20,09
	Promedio	3,34	9692,00	648,00	194,28	75,61	20,05
Llamada 2	Riobamba-Quito	0,65	9390,00	0,00	187,78	80,06	20,00
	Quito- Riobamba	4,52	9384,00	3523,00	187,65	53,48	20,00
	Promedio	2,59	9387,00	1761,50	187,72	66,77	20,00

Tabla 4.10. Datos obtenidos Escenario 7.

ESCENARIO 8: TELEFONÍA IP APLICANDO IP RTP PRIORITY (sin tráfico de red)

La técnica de encolamiento utilizada en este escenario se la describió en el escenario 4, por lo que a continuación se presenta la tabla de resultados obtenidos

tras monitorear el tráfico RTP con las Herramientas Wireshark y VQManager durante tres minutos promedio:

		JITTER(ms)	PAQUETES (u)		DURACIÓN DE LLAMADA (s)	AB (kbps)	RETARDO (ms)
			ENVIADOS	PERDIDOS			
Llamada 1	Ambato-Riobamba	0,78	9420,00	0,00	188,38	80,09	20,00
	Riobamba-Ambato	8,12	9425,00	1582,00	188,52	67,79	20,00
	Promedio	4,45	9422,50	791,00	188,45	73,94	20,00
Llamada 2	Riobamba-Quito	0,68	9241,00	0,00	184,80	80,08	20,00
	Quito- Riobamba	7,45	9243,00	3166,00	184,83	54,30	20,00
	Promedio	4,07	9242,00	1583,00	184,82	67,19	20,00

Tabla 4.11. Datos obtenidos Escenario 8.

Una vez mostradas las tablas de los resultados obtenidos en cada uno de los escenarios simulados, se indicará tablas resumidas con sus respectivas gráficas de cada uno de los indicadores que fueron evaluados en cada escenario de prueba para poder realizar un mejor análisis de los datos alcanzados.

ANÁLISIS DE INDICADORES EVALUADOS EN LOS ESCENARIOS QUE TRABAJARON CON TRÁFICO DE RED.

JITTER

El jitter es la variación del tiempo de llegada de cada uno de los paquetes enviados hasta llegar a su destino, es decir, es la variación del retardo de los paquetes enviados. La Tabla 4.12 muestra los valores obtenidos en la pruebas de laboratorio aplicando los tres tipos de encolamiento simulados. En aplicaciones de tiempo real como la Telefonía IP, mientras menor sea el valor de jitter, mayor garantía habrá de que la comunicación se establezca satisfactoriamente.

VARIACIÓN DEL JITTER (ms)

	Sin QoS	WRED&CBWFQ	LLQ	IP RTP Prior.
Riobamba-Ambato	10,55	9,56	9,64	7,27
Riobamba-Quito	11,68	9,57	9,72	7,89

Tabla 4.12. Variación de Jitter (con tráfico de red).

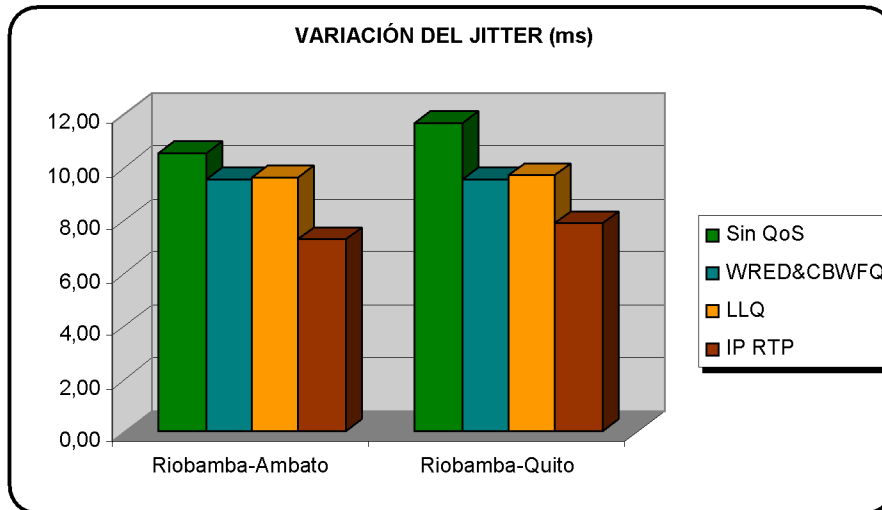


Figura 4.4. Variación de Jitter (con tráfico de red).

Como se puede observar en la Figura 4.4., se está comparando el Jitter que tuvieron cada una de las llamadas realizadas (Riobamba – Ambato y Riobamba – Quito) con cada tipo de encolamiento y con la misma carga de red.

De manera general se puede constatar que en los cuatro escenarios simulados, la llamada de Riobamba a Ambato es la que tiene en promedio menor variación de Jitter. Sin embargo al analizar cada llamada por separado, se comprueba que el tipo de encolamiento aplicado en el escenario 4 (IP RTP Priority) es la que nos da un valor menor de variación de tiempo de llegada de los paquetes de 7,27 ms y 7,89 ms respectivamente para cada llamada.

El tipo de encolamiento WRED&CBWFQ (Weighted Random Early Detection & Class-Based Weighted Fair Queuing) es el segundo en presentar un valor menor de Jitter, existiendo con respecto al primero (IP RTP Priority) una diferencia de 2,29 ms y 1,68 ms respectivamente para cada llamada realizada.

LLQ (Low Latency Queueing), es de los tres tipos de encolamiento el que mayor valor de Jitter presenta con 9,64 ms para la llamada de Riobamba – Ambato y 9,72 ms para la llamada de Riobamba – Quito.

Obviamente, el escenario que trabajó sin ninguna aplicación de encolamiento, esto es, sin aplicar QoS es el que presenta el valor más alto de Jitter con 10,55 ms y 11,68 ms para cada llamada respectivamente.

PAQUETES PERDIDOS

En una transmisión en tiempo real se envía una cierta cantidad de paquetes ya sea de voz, datos o video que viajan a través de la red hasta llegar a su destino, en ese trayecto, los ruteadores pueden fallar en liberar algunos paquetes si ellos llegan por ejemplo cuando los buffers ya están llenos. Algunos, ninguno o todos los paquetes pueden quedar sueltos dependiendo del estado de la red. La siguiente tabla es una muestra de los resultados obtenidos en cada uno de los cuatro escenarios simulados con carga de red y llamadas telefónicas simultáneas.

PAQUETES PERDIDOS

	Sin QoS	WRED&CBWFQ	LLQ	IP RTP Prior.
Riobamba-Ambato	2395	1778	2108	3260
Riobamba-Quito	2287	1807	1948	3462

Tabla 4.13. Paquetes Perdidos (con tráfico de red).

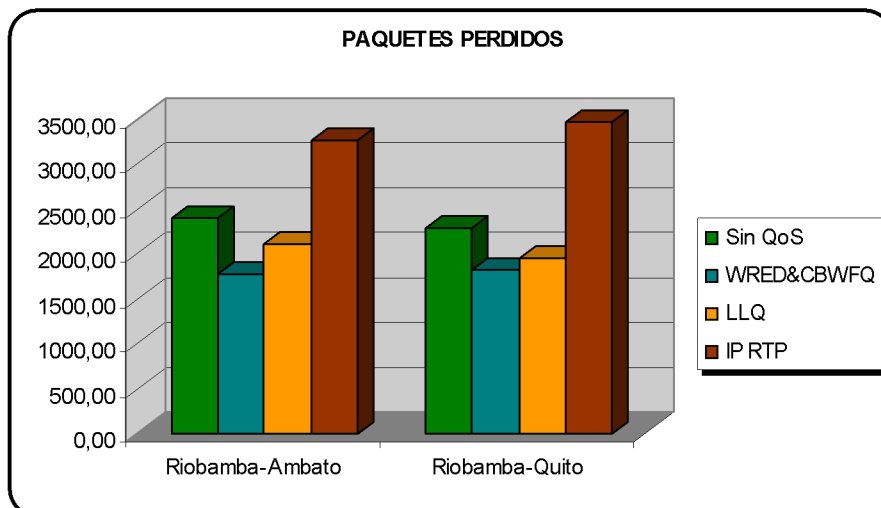


Figura 4.5. Paquetes Perdidos (con tráfico de red).

Como se puede ver en la Figura 4.5. la mayor cantidad de paquetes perdidos se da cuando la transmisión de datos se la hizo en el escenario 4, aplicando el IP RTP Priority, incluso superando el escenario que no trabajó con ningún tipo de encolamiento esto es sin QoS. Los paquetes perdidos en este escenario llegan hasta 3260 y 3462 en cada llamada realizada.

Existe una gran diferencia del número de paquetes perdidos con respecto a los otros dos tipos de encolamiento, siendo el mejor, o el que menos número de paquetes perdidos presenta el WRED&CBWFQ (Weighted Random Early Detection & Class-Based Weighted Fair Queuing) que para la carga de red simulada perdió 1778 y 1807 en cada llamada realizada.

LLQ (Low Latency Queueing) es el segundo tipo de encolamiento en presentar el menor número de paquetes perdidos, tal es así, que en la llamada de Riobamba – Ambato perdió 2108 paquetes y en la llamada de Riobamba – Quito 1948 paquetes, teniendo una diferencia con respecto a WRED&CBWFQ (Weighted Random Early Detection & Class-Based Weighted Fair Queuing) que alcanzó el menor número de paquetes perdidos de 331 y 142 paquetes en cada llamada respectivamente.

ANCHO DE BANDA

El ancho de banda es la cantidad de información o de datos que se puede enviar a través de una conexión de red en un período de tiempo dado. La siguiente tabla indica el consumo de Ancho de Banda que se tuvo en los cuatro escenarios simulados aplicando los tres tipos de encolamiento.

ANCHO DE BANDA UTILIZADO (Kbps)

	Sin QoS	WRED&CBWFQ	LLQ	IP RTP Prior.
Riobamba-Ambato	66,29	66,97	201,87	53,15
Riobamba-Quito	62,92	66,84	182,19	51,30

Tabla 4.14. Ancho de Banda utilizado (con tráfico de red).

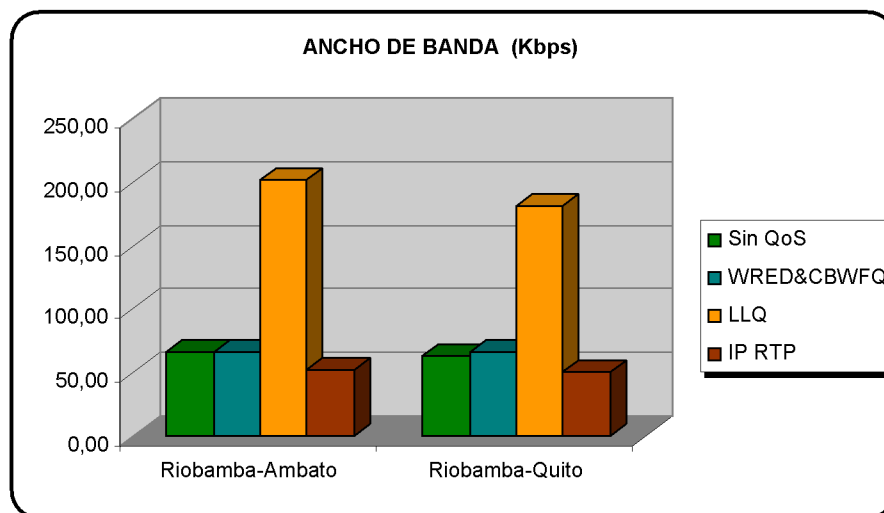


Figura 4.6. Ancho de Banda utilizado (con tráfico de red).

Como se puede observar en la Figura 4.6. el mayor consumo de Ancho de Banda se da en el escenario 3 cuando se aplica LLQ (Low Latency Queueing) con valores que llegan a 201,87 kbps y 182,19 kbps en cada llamada realizada Riobamba – Ambato y Riobamba – Quito respectivamente. Con respecto al resto de escenarios simulados el consumo de Ancho de Banda es notablemente mayor en este tipo de encolamiento.

El IP RTP Priority es el que tiene un menor consumo de Ancho de Banda con 53,15 kbps en la llamada de Riobamba – Ambato y 51,30 kbps en la llamada de Riobamba – Quito.

El escenario probado con WRED&CBWFQ (Weighted Random Early Detection & Class-Based Weighted Fair Queuing) respecto al escenario que no aplica ningún tipo de encolamiento tan solo tiene un diferencia de consumo de Ancho de Banda de 0,68 kbps en la llamada de Riobamba – Ambato y 3,92 kbps en la llamada de Riobamba – Quito.

RETARDO

Es el tiempo que tarda un paquete en llegar desde la fuente al destino. Puede ocurrir que los paquetes tomen un largo período en alcanzar su destino, debido a que pueden permanecer en largas colas o tomar una ruta menos directa para prevenir la congestión de la red. En todos los casos, los retardos excesivos pueden inutilizar aplicaciones como la Telefonía IP que es nuestro caso de estudio. Y es precisamente la siguiente tabla la que muestra el retardo de la transmisión de datos y voz que se simuló en los cuatro escenarios estudiados.

Los valores de retardo de esta tabla fueron calculados mediante una regla de tres utilizando los datos obtenidos del número total de paquetes enviados en un intervalo de tiempo dado (que para este caso fue de tres minutos promedio en cada prueba), respecto al tiempo en que un solo paquete se demoraba en transmitir. El resultado de esta operación fue el valor de retardo.

RETARDO (ms)

	Sin QoS	WRED&CBWFQ	LLQ	IP RTP Prior.
Riobamba-Ambato	16,51	16,86	19,66	14,82
Riobamba-Quito	16,19	16,71	19,64	14,51

Tabla 4.15. Retardo (con tráfico de red).

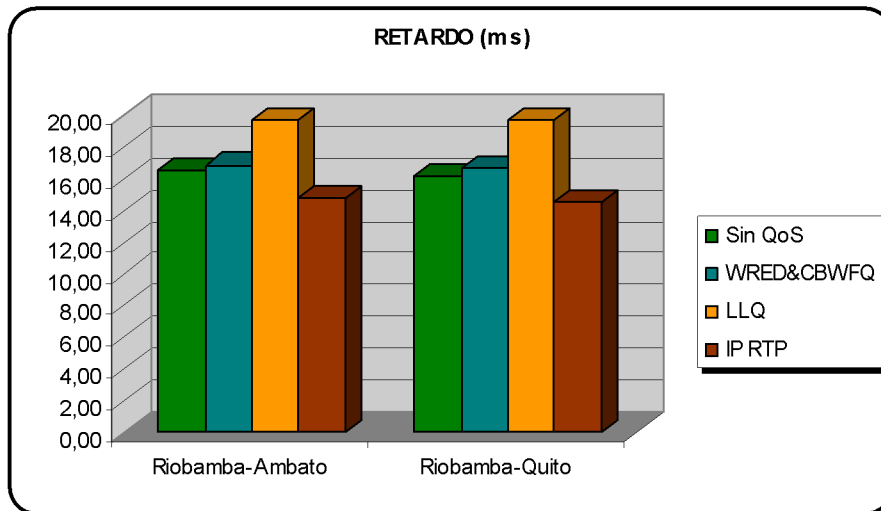


Figura 4.7. Retardo (con tráfico de red).

La Figura 4.7. indica que el menor tiempo de retardo se obtuvo al transmitir datos en el escenario 4, cuando se aplicó IP RTP Priority. En la llamada de Riobamba – Ambato existió un retardo de 14,82 ms y de 14,51 ms en la llamada de Riobamba – Quito.

Cabe recalcar que los cuatro escenarios presentan aproximadamente el mismo tiempo de retardo, con una diferencia de tan solo décimas y centésimas en algunos casos, por lo que podemos decir que en promedio los cuatro escenarios obtuvieron el mismo tiempo de retardo.

ANÁLISIS DE INDICADORES EVALUADOS EN LOS ESCENARIOS QUE TRABAJARON SIN TRÁFICO DE RED.

JITTER

La Tabla 4.16 muestra los valores obtenidos de Jitter en la simulación de los cuatro escenarios estudiados, pero esta vez, sin cargar tráfico en la red, es decir estos resultados se obtuvieron transmitiendo solo paquetes de voz el momento en

que se realizó las dos llamadas simultáneas de Riobamba – Ambato y Riobamba – Quito.

VARIACIÓN DE JITTER (ms)

	Sin QoS	WRED&CBWFQ	LLQ	IP RTP Prior.
Riobamba-Ambato	4,45	2,53	2,27	3,34
Riobamba-Quito	4,07	3,33	3,62	2,59

Tabla 4.16. Variación de Jitter (sin tráfico de red).

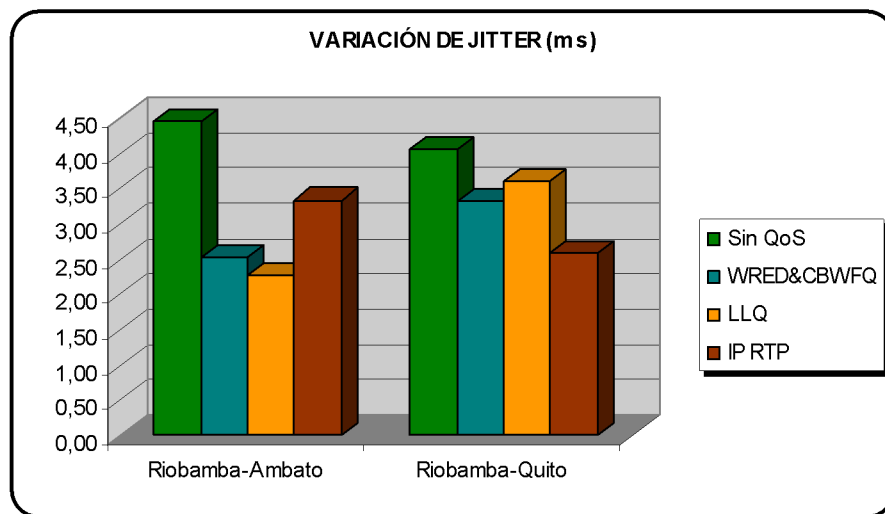


Figura 4.8. Variación de Jitter (sin tráfico de red).

Como se puede observar en la Figura 4.8. para el primer escenario que no aplicó QoS, la variación de Jitter es mayor con respecto al resto de escenarios que sí aplicaron los diferentes tipos de encolamiento, esto comparado en las dos llamadas.

Al tratar de realizar una comparación entre los datos de Jitter obtenidos en los escenarios que aplicaron colas, se puede ver que no guardan proporcionalidad de una llamada a otra como sucedía en los escenarios probados con tráfico de red.

Tal es el caso del escenario 2, WRED&CBWFQ (Weighted Random Early Detection & Class-Based Weighted Fair Queuing) que tiene un valor de 2,53 ms en la llamada de Riobamba – Ambato que no es proporcional a los 3,33 ms de la

llamada de Riobamba – Quito. Cabe aclarar, que al decir “no es proporcional“ la referencia se hace con respecto a si los datos obtenidos en este escenario son mayores o menores con relación al resto de escenarios pero en conjunto de las dos llamadas.

Por lo expuesto, el análisis en este escenario, se lo hará de cada llamada por separado. Entonces, la cola aplicada en el escenario 3 LLQ (Low Latency Queueing) es la que menos variación de Jitter tiene, alcanzando un valor de 2,27 ms en la llamada de Riobamba – Ambato, no así en la llamada de Riobamba – Quito que alcanzó un valor de 3,62 ms siendo de las tres colas la que mayor variación de Jitter obtuvo.

El IP RTP Priority, alcanza un valor de 3,34 ms en la llamada de Riobamba – Ambato y de 2,59 ms en la llamada de Riobamba – Quito, siendo en esta llamada la cola que menor variación de Jitter tuvo.

PAQUETES PERDIDOS

De igual manera, la siguiente tabla nos muestra los valores obtenidos del número de paquetes perdidos en cada uno de los cuatro escenarios simulados pero sin tener carga en el tráfico de red, esto es, solo transmitiendo tráfico de voz al momento de realizar las dos llamadas simultáneas.

	Sin QoS	WRED&CBWFQ	LLQ	IP RTP Prior.
Riobamba-Ambato	791	1609	1904	648
Riobamba-Quito	1583	645	416	1762

Tabla 4.17. Paquetes Perdidos (sin tráfico de red).

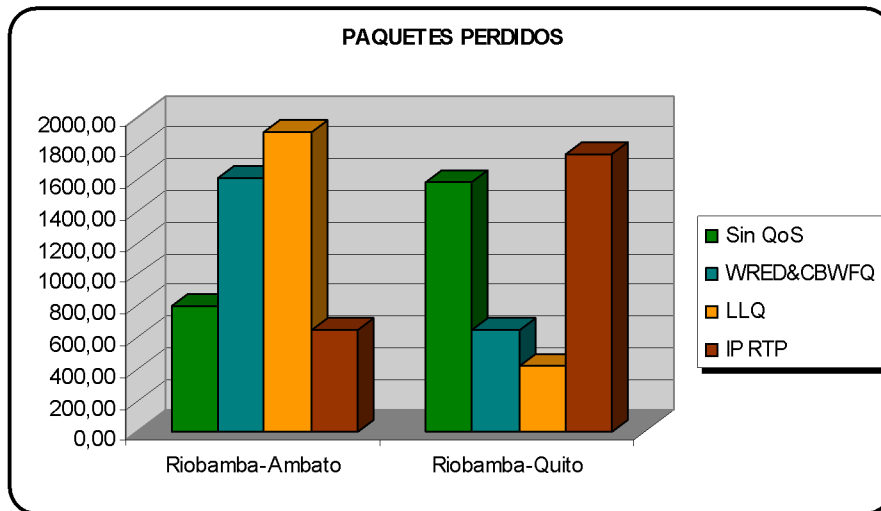


Figura 4.9. Paquetes Perdidos (sin tráfico de red).

Los valores obtenidos de este indicador se ven reflejados en la Figura 4.9. que al igual que el indicador anterior se va a analizar en cada llamada por separado.

En la llamada de Riobamba – Ambato el menor número de paquetes perdidos de voz fue en el escenario 4 aplicando el IP RTP Priority, donde se perdieron 648 paquetes, no así en la llamada de Riobamba – Quito donde esta cola, fue la que mayor número de paquetes perdidos tuvo llegando a 1762 paquetes.

En el primer escenario donde no se aplicó ningún tipo de encolamiento los valores obtenidos en las llamadas de Riobamba – Ambato y Riobamba – Quito fueron de 791 paquetes perdidos para el primer caso y 1583 paquetes perdidos para el segundo caso.

El escenario 2 donde se aplicó WRED&CBWFQ (Weighted Random Early Detection & Class-Based Weighted Fair Queuing), tuvo 1608 paquetes perdidos en la llamada de Riobamba – Ambato muy por encima de los 645 paquetes perdidos que se tuvo en la llamada de Riobamba – Quito.

El escenario 3 que aplicó LLQ (Low Latency Queueing) fue la cola que menor número de paquetes perdidos alcanzó en la llamada de Riobamba – Quito con 415

paquetes perdidos, no así en la llamada de Riobamba – Ambato que fue la cola que más paquetes perdidos tuvo con 1904 paquetes.

ANCHO DE BANDA

Los datos obtenidos del consumo de Ancho de Banda en estos cuatro escenarios que trabajaron sin carga en la red se muestran en la Tabla 4.18.

ANCHO DE BANDA UTILIZADO (Kbps)

	Sin QoS	WRED&CBWFQ	LLQ	IP RTP Prior.
Riobamba-Ambato	73,94	67,84	65,58	75,61
Riobamba-Quito	67,19	75,80	82,00	66,77

Tabla 4.18. Ancho de Banda utilizado (sin tráfico de red).

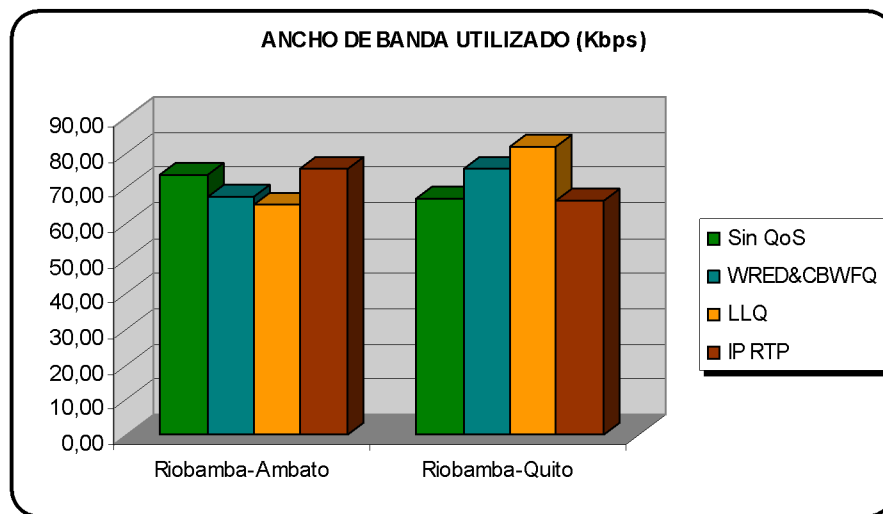


Figura 4.10. Ancho de Banda utilizado (sin tráfico de red).

La gráfica generada con los valores obtenidos en la Tabla 4.18 nos indica que en la llamada de Riobamba – Ambato la cola que presentó el menor consumo de Ancho de Banda fue la aplicada en el escenario 3 LLQ (Low Latency Queuing) con un valor de 65,58 kbps, no obstante, en la llamada de Riobamba – Quito esta cola fue la que mayor Ancho de Banda consumió con un valor de 82 kbps.

El escenario 1 que trabajó sin QoS consumió 73,94 kbps de Ancho de Banda en la llamada realizada de Riobamba – Ambato y 67,19 kbps en la llamada de Riobamba – Quito.

El escenario 2 que aplicó la cola WRED&CBWFQ (Weighted Random Early Detection & Class-Based Weighted Fair Queuing) fue la segunda cola en obtener el mayor consumo de Ancho de Banda en la llamada realizada de Riobamba – Quito, y la segunda en obtener el menor consumo de Ancho de Banda en la llamada de Riobamba – Ambato con valores de 75,80 kbps y 67,84 kbps en cada caso.

El escenario que aplicó IP RTP Priority, fue el que menor consumo de Ancho de Banda obtuvo en la llamada de Riobamba – Quito con 66,77 kbps, no así en la llamada de Riobamba – Ambato que fue la que mayor consumo de Ancho de Banda tuvo respecto al resto de escenarios alcanzando un valor de 75,61 kbps.

RETARDO

La Tabla 4.19 indica los valores obtenidos al calcular el tiempo de retardo en cada uno de los escenarios simulados, ayudados de los datos de laboratorio referentes al número de paquetes enviados y al tiempo de duración en que fueron transmitidos.

RETARDO (ms)

	Sin QoS	WRED&CBWFQ	LLQ	IP RTP Prior.
Riobamba-Ambato	20,00	20,05	20,05	20,05
Riobamba-Quito	20,00	20,00	20,00	20,00

Tabla 4.19. Retardo (sin tráfico de red).

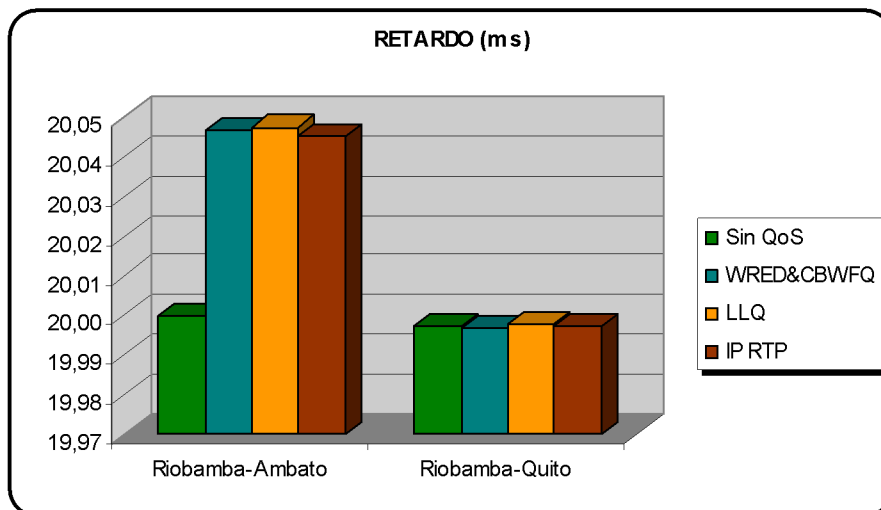


Figura 4.11. Retardo (sin tráfico de red).

Como se puede observar en la Figura 4.11. los datos obtenidos en la simulación, son prácticamente los mismos en los cuatro escenarios estudiados, con diferencia de tan solo centésimas de ms.

La llamada de Riobamba – Quito es la que tuvo aproximadamente el mismo tiempo de retardo en los cuatro escenarios simulados. La llamada de Riobamba – Ambato tuvo una diferencia mínima entre los escenarios que aplicaron un tipo de encolamiento con respecto al primer escenario que no aplicó QoS.

VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Luego de haber realizado todas las pruebas de simulación se efectuó los cálculos para la comprobación de la hipótesis planteada en base a los resultados obtenidos con cada indicador, para esto se empleó la prueba del ji (chi-cuadrado) o X^2 .

La hipótesis a considerar es:

“Existe un modelo de configuración idóneo de Calidad de Servicio (QoS) que mejora el rendimiento del tráfico de voz del Sistema de Telefonía IP de la Empresa Cemento Chimborazo C.A.”

Hipótesis Nula Ho:

No existe un modelo de configuración idóneo de Calidad de Servicio (QoS) que mejora el rendimiento del tráfico de voz del Sistema de Telefonía IP de la Empresa Cemento Chimborazo C.A.

Hipótesis de la Investigación Hi:

Existe un modelo de configuración idóneo de Calidad de Servicio (QoS) que mejora el rendimiento del tráfico de voz del Sistema de Telefonía IP de la Empresa Cemento Chimborazo C.A.

PRUEBA DE HIPÓTESIS:

PRUEBA DE X²: *Tráfico de voz sobre IP con WRED&CBWFQ frente al tráfico de voz sobre IP sin QoS.*

En base a los resultados obtenidos en las Tablas 4.12., 4.13., 4.14., y 4.15. se pudo construir las *Tablas de Contingencia* considerando la variable independiente: *el modelo de configuración de QoS* y la variable dependiente: *el sistema de Telefonía IP.*

Donde las *frecuencias observadas (fo)* fueron relacionadas con los valores del Tráfico de voz sobre IP sin QoS y las *frecuencias esperadas (fe)* fueron las relacionadas con los valores de Tráfico de voz sobre IP aplicando **WRED&CBWFQ** (en escenario con tráfico IP).

Posterior a ello, se construyó la *Tabla de Aplicación* de la fórmula de X^2 , tomando a f_o y f_e como valores para su construcción. Estas variables fueron utilizadas para el cálculo de X^2 y para establecer si su valor es o no significativo. Además se determinó los grados de libertad aplicando la siguiente fórmula:

$$GL = (f-1)(c-1)$$

Donde f es el número de filas de la tabla de contingencia y c el número de columnas. Por lo tanto el grado de libertad para la variable es:

$$GL = (2-1)(2-1)$$
$$GL = 1$$

El *nivel de significancia* con el que se trabajó en la prueba de la hipótesis, fue de $\alpha = 0,1$. Por lo cual, la comprobación de cada resultado se comparó entre el valor de X^2 calculado, con el que se encuentra analizado en la tabla de Distribución de Chi Cuadrado que se muestra en el Anexo 1.

Si el valor de X^2 calculado es menor que el valor de X^2 tabulado, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis de investigación.

Con $\alpha = 0,1$ y 1 grado de libertad tenemos que para esta investigación el valor de X^2 tabulado es de 2,7055.

En base a estas fórmulas se calculó el X^2 cuadrado para cada uno de los escenarios propuestos por cada indicador planteado.

JITTER

La Tabla de contingencias para este indicador se muestra a continuación:

VARIACIÓN DEL JITTER (ms)

Llamadas	Sin QoS	WRED&CBWFQ
Riobamba-Ambato	10,55	9,56
Riobamba-Quito	11,68	9,57

Tabla 4.20. Tabla de Contingencias 2x2 Jitter sin QoS vs Jitter con WRED&CBWFQ

Basados en la Tabla 4.20. se creó la Tabla de Cálculo de X².

fo	fe	fo-fe	(fo-fe) ²	(fo-fe) ² / fe
10,55	9,56	0,99	0,98	0,10
11,68	9,57	2,11	4,43	0,46
			X ²	0,57

Tabla 4.21. Tabla de Cálculo de X² Jitter sin QoS vs Jitter con WRED&CBWFQ

📦 PAQUETES PERDIDOS

La Tabla de contingencias para este indicador se muestra a continuación:

PAQUETES PERDIDOS

Llamadas	Sin QoS	WRED&CBWFQ
Riobamba-Ambato	2395	1778
Riobamba-Quito	2287	1807

Tabla 4.22. Tabla de Contingencias 2x2 Paquetes Perdidos sin QoS vs Paquetes Perdidos con WRED&CBWFQ

Basados en la Tabla 4.22. se creó la Tabla de Cálculo de X².

fo	fe	fo-fe	(fo-fe) ²	(fo-fe) ² / fe
2395	1778	617	380689	214,11
2287	1807	480	230400	127,50
			X²	341,61

Tabla 4.23. Tabla de Cálculo de X² Paquetes Perdidos sin QoS vs Paquetes Perdidos con WRED&CBWFQ

ANCHO DE BANDA

La Tabla de contingencias para este indicador se muestra a continuación:

ANCHO DE BANDA UTILIZADO (kbps)

Llamadas	Sin QoS	WRED&CBWFQ
Riobamba-Ambato	66,29	66,97
Riobamba-Quito	62,92	66,84

Tabla 4.24. Tabla de Contingencias 2x2 Consumo de AB sin QoS vs Consumo de AB con WRED&CBWFQ

Basados en la Tabla 4.24. se creó la Tabla de Cálculo de X².

fo	fe	fo-fe	(fo-fe) ²	(fo-fe) ² / fe
66,29	66,97	-0,68	0,46	0,01
62,92	66,84	-3,92	15,37	0,23
			X²	0,24

Tabla 4.25. Tabla de Cálculo de X² Consumo de AB sin QoS vs Consumo de AB con WRED&CBWFQ

RETARDO

La Tabla de contingencias para este indicador se muestra a continuación:

RETARDO (ms)

Llamadas	Sin QoS	WRED&CBWFQ
Riobamba-Ambato	16,51	16,86
Riobamba-Quito	16,19	16,71

Tabla 4.26. Tabla de Contingencias 2x2 Retardo sin QoS vs Retardo con WRED&CBWFQ

Basados en la Tabla 4.26. se creó la Tabla de Cálculo de X².

fo	fe	fo-fe	(fo-fe) ²	(fo-fe) ² / fe
16,51	16,86	-0,35	0,12	0,01
16,19	16,71	-0,52	0,27	0,02
			X²	0,03

Tabla 4.27. Tabla de Cálculo de X² Retardo sin QoS vs Retardo con WRED&CBWFQ

PRUEBA DE X²: Tráfico de voz sobre IP aplicando LLQ frente al tráfico de voz sobre IP sin QoS.

En función de los resultados obtenidos en las Tablas 4.12., 4.13., 4.14., y 4.15. se construyó las Tablas de Contingencia considerando la variable independiente: *el modelo de configuración de QoS* y la variable dependiente: *el sistema de Telefonía IP*.

Donde las *frecuencias observadas (fo)* fueron relacionadas con los valores del Tráfico de voz sobre IP sin QoS y las *frecuencias esperadas (fe)* fueron las relacionadas con los valores de Tráfico de voz sobre IP aplicando LLQ (en escenario con tráfico IP).

Posterior a ello, se construyó la *Tabla de Aplicación* de la fórmula de X², tomando a **fo** y **fe** como valores para su construcción. Estas variables fueron utilizadas para el cálculo de X² y para establecer si su valor es o no significativo.

Al igual que en el caso anterior donde se analizó Tráfico IP sin QoS contra Tráfico IP aplicando WRED & CBWFQ, se mantienen los grados de libertad $GL = 1$, ya que son de igual forma 2 filas y 2 columnas, con un nivel de significancia de $\alpha = 0,1$. Tomando en cuenta que con $\alpha = 0,1$ y 1 grado de libertad se tiene un valor de X^2 tabulado de 2,7055.

A partir de ello, se calculó el X^2 cuadrado para el tipo de encolamiento LLQ por cada indicador planteado.

JITTER

La Tabla de contingencias para este indicador se muestra a continuación:

VARIACIÓN DEL JITTER (ms)

Llamadas	Sin QoS	LLQ
Riobamba-Ambato	10,55	9,64
Riobamba-Quito	11,68	9,72

Tabla 4.28. Tabla de Contingencias 2x2 Jitter sin QoS vs Jitter con LLQ

Basados en la Tabla 4.28. se creó la Tabla de Cálculo de X^2 .

fo	fe	fo-fe	(fo-fe) ²	(fo-fe) ² / fe
10,55	9,64	0,91	0,83	0,09
11,68	9,72	1,96	3,84	0,40
			X²	0,48

Tabla 4.29. Tabla de Cálculo de X^2 Jitter sin QoS vs Jitter con LLQ

PAQUETES PERDIDOS

La Tabla de contingencias para este indicador se muestra a continuación:

VARIACIÓN DEL JITTER (ms)

Llamadas	Sin QoS	LLQ
Riobamba-Ambato	2395	2108
Riobamba-Quito	2287	1948

Tabla 4.30. Tabla de Contingencias 2x2 Paquetes perdidos sin QoS vs Paquetes perdidos con LLQ

Basados en la Tabla 4.30. se creó la Tabla de Cálculo de X².

fo	fe	fo-fe	(fo-fe) ²	(fo-fe) ² / fe
2395	2108	287	82369	39,07
2287	1948	339	114921	58,99
			X ²	98,07

Tabla 4.31. Tabla de Cálculo de X² Paquetes perdidos sin QoS vs Paquetes perdidos con LLQ

 ANCHO DE BANDA

La Tabla de contingencias para este indicador se muestra a continuación:

ANCHO DE BANDA UTILIZADO (kbps)

Llamadas	Sin QoS	LLQ
Riobamba-Ambato	66,29	201,87
Riobamba-Quito	62,92	182,19

Tabla 4.32. Tabla de Contingencias 2x2 Consumo de AB sin QoS vs Consumo de AB con LLQ

Basados en la Tabla 4.32. se creó la Tabla de Cálculo de X².

fo	fe	fo-fe	(fo-fe) ²	(fo-fe) ² / fe
66,29	201,87	-135,58	18381,94	91,06
62,92	182,19	-119,27	14225,33	78,08
			X²	169,14

Tabla 4.33. Tabla de Cálculo de X² Consumo de AB sin QoS vs Consumo de AB con LLQ

RETARDO

La Tabla de contingencias para este indicador se muestra a continuación:

RETARDO (ms)

Llamadas	Sin QoS	LLQ
Riobamba-Ambato	16,51	19,66
Riobamba-Quito	16,19	19,64

Tabla 4.34. Tabla de Contingencias 2x2 Retardo sin QoS vs Retardo con LLQ

Basados en la Tabla 4.34. se creó la Tabla de Cálculo de X².

fo	fe	fo-fe	(fo-fe) ²	(fo-fe) ² / fe
16,51	19,66	-3,15	9,92	0,50
16,19	19,64	-3,45	11,90	0,61
			X²	1,11

Tabla 4.35. Tabla de Cálculo de X² Retardo sin QoS vs Retardo con LLQ

PRUEBA DE X²: Tráfico de voz sobre IP aplicando IP RTP Priority frente al tráfico de voz sobre IP sin QoS.

En función de los resultados obtenidos en las Tablas 4.12., 4.13., 4.14., y 4.15. se construyó las Tablas de Contingencia considerando la variable independiente: *el modelo de configuración de QoS* y la variable dependiente: *el sistema de Telefonía IP.*

Donde las *frecuencias observadas (fo)* fueron relacionadas con los valores del Tráfico de voz sobre IP sin QoS y las *frecuencias esperadas (fe)* fueron las relacionadas con los valores de Tráfico de voz sobre IP aplicando *IP RTP Priority* (en escenario con tráfico IP).

Posterior a ello, se construyó la *Tabla de Aplicación* de la fórmula de X^2 , tomando a **fo** y **fe** como valores para su construcción. Estas variables fueron utilizadas para el cálculo de X^2 y para establecer si su valor es o no significativo.

Al igual que en el caso anterior donde se analizó Tráfico IP sin QoS contra Tráfico IP aplicando LLQ, se mantienen los grados de libertad $GL = 1$, ya que son de igual forma 2 filas y 2 columnas, con un nivel de significancia de $\alpha = 0,1$. Tomando en cuenta que con $\alpha = 0,1$ y 1 grado de libertad se tiene un valor de X^2 tabulado de 2,7055.

A partir de ello, se calculó el X^2 cuadrado para el tipo de encolamiento IP RTP Priority por cada indicador planteado.

JITTER

La Tabla de contingencias para este indicador se muestra a continuación:

VARIACIÓN DEL JITTER (ms)

Llamadas	Sin QoS	LLQ
Riobamba-Ambato	10,55	7,27
Riobamba-Quito	11,68	7,89

Tabla 4.36. Tabla de Contingencias 2x2 Jitter sin QoS vs Jitter con IP RTP Priority

Basados en la Tabla 4.36. se creó la Tabla de Cálculo de X^2 .

fo	fe	fo-fe	(fo-fe) ²	(fo-fe) ² / fe
10,55	7,27	3,28	10,76	1,48
11,68	7,89	3,79	14,36	1,82
			X²	3,30

Tabla 4.37. Tabla de Cálculo de X^2 Jitter sin QoS vs Jitter con IP RTP Priority

PAQUETES PERDIDOS

La Tabla de Contingencias para este indicador se muestra a continuación:

VARIACIÓN DEL JITTER (ms)

Llamadas	Sin QoS	IP RTP Prior.
Riobamba-Ambato	2395	3260
Riobamba-Quito	2287	3462

Tabla 4.38. Tabla de Contingencias 2x2 Paquetes perdidos sin QoS vs Paquetes perdidos con IP RTP Priority

Basados en la Tabla 4.38. se creó la Tabla de Cálculo de X^2 .

fo	fe	fo-fe	(fo-fe) ²	(fo-fe) ² / fe
2395	3260	-865	748225	229,52
2287	3462	-1175	1380625	398,79
			X²	628,31

Tabla 4.39. Tabla de Cálculo de X^2 Paquetes perdidos sin QoS vs Paquetes perdidos con IP RTP Priority

ANCHO DE BANDA

La Tabla de contingencias para este indicador se muestra a continuación:

ANCHO DE BANDA UTILIZADO (kbps)

Llamadas	Sin QoS	IP RTP Prior.
Riobamba-Ambato	66,29	53,15
Riobamba-Quito	62,92	51,30

Tabla 4.40. Tabla de Contingencias 2x2 Consumo de AB sin QoS vs Consumo de AB con IP RTP Priority

Basados en la Tabla 4.41. se creó la Tabla de Cálculo de X^2 .

fo	fe	fo-fe	$(fo-fe)^2$	$(fo-fe)^2 / fe$
66,29	53,15	13,14	172,66	3,25
62,92	51,30	11,62	135,02	2,63
			X^2	5,88

Tabla 4.41. Tabla de Cálculo de X^2 Consumo de AB sin QoS vs Consumo de AB con IP RTP Priority

RETARDO

La Tabla de contingencias para este indicador se muestra a continuación:

RETARDO (ms)

Llamadas	Sin QoS	IP RTP Prior
Riobamba-Ambato	16,51	14,82
Riobamba-Quito	16,19	14,51

Tabla 4.42. Tabla de Contingencias 2x2 Retardo sin QoS vs Retardo con IP RTP Priority

Basados en la Tabla 4.42. se creó la Tabla de Cálculo de X^2 .

fo	fe	fo-fe	(fo-fe) ²	(fo-fe) ² / fe
16,51	14,82	1,69	2,86	0,19
16,19	14,51	1,68	2,82	0,19
			X²	0,38

Tabla 4.43. Tabla de Cálculo de X² Retardo sin QoS vs Retardo con IP RTP Priority

RESUMEN DE LAS TABLAS DE CHI CUADRADO

El resumen de los valores calculados de chi cuadrado para cada uno de los indicadores de la variable dependiente se muestran en las Tablas 4.44, 4.45 y 4.46.

Tráfico sin QoS vs. WRED&CBWFQ

	Jitter	Paquetes Perdidos	Ancho de Banda	Retardo
Tabulado	2,70	2,70	2,70	2,70
Sin tabular	0,51	342,32	0,24	0,02

Tabla 4.44. Tabla de resumen del Cálculo de X² para el Escenario que trabajó con WRED&CBWFQ

Tráfico sin QoS vs. LLQ

	Jitter	Paquetes Perdidos	Ancho de Banda	Retardo
Tabulado	2,70	2,70	2,70	2,70
Sin tabular	0,48	98,07	169,14	1,11

Tabla 4.45. Tabla de resumen del Cálculo de X² para el Escenario que trabajó con LLQ

Tráfico sin QoS vs. IP RTP PRIORITY

	Jitter	Paquetes Perdidos	Ancho de Banda	Retardo
Tabulado	2,70	2,70	2,70	2,70
Sin tabular	3,3	627,8	5,88	0,39

Tabla 4.46. Tabla de resumen del Cálculo de X² para el Escenario que trabajó con IP RTP Priority

La Tabla 4.47. muestra los indicadores en cada uno de los escenarios estudiados, que cumplieron o no con la hipótesis planteada, esto basado en la Prueba de Chi cuadrado. Cabe recordar que el cumplimiento de la hipótesis estaba dado en si el valor calculado era mayor al que se encuentra analizado (tabulado) en la tabla de Distribución de Chi Cuadrado.

	Jitter	Paquetes Perdidos	Ancho de Banda	Retardo
WRED&CBWFQ	X	√	X	X
LLQ	X	√	√	X
IP RTP Priority	√	√	√	X

Tabla 4.47. Tabla demostrativa del cumplimiento de la hipótesis en cada escenario estudiado

Como se puede observar, de los tres escenarios estudiados, el que tiene el mayor número de indicadores que superan la Prueba de X^2 es el escenario que aplica la cola IP RTP Priority, superando con tres de los cuatro indicadores el valor tabulado que para esta investigación fue de 2,7055, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación, esto es:

“Existe un modelo de configuración idóneo de Calidad de Servicio (QoS) que mejorará el rendimiento del tráfico de voz del Sistema de Telefonía IP de la Empresa Cemento Chimborazo C.A.”

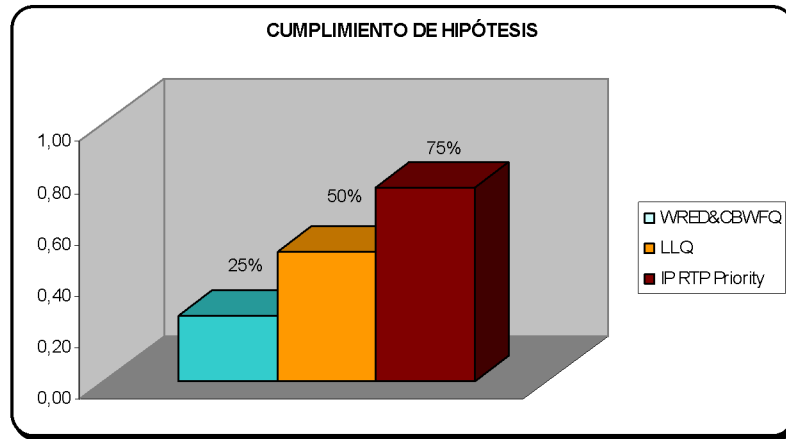


Figura 4.12. Porcentaje de cumplimiento de hipótesis en cada escenario estudiado.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Los variados esquemas de encolamiento estudiados en el presente trabajo de investigación nos dejaron llegar a las siguientes conclusiones:

- La mayor variación de Jitter, que perjudicó a las secuencias de audio, en estos cuatro escenarios fue la que aplicó LLQ obteniendo el 21% más de variación que el resto de colas. Por el contrario a ésta, IP RTP Priority, obtuvo 7,27 ms en la llamada realizada de Riobamba – Ambato y 7,89 ms en la llamada de Riobamba – Quito, convirtiéndola en el tipo de cola que presentó la menor variación de Jitter.
- La mayor cantidad de paquetes perdidos en la comunicación establecida entre Riobamba – Ambato y Riobamba - Quito fue en el escenario donde se aplicó IP RTP Priority perdiendo el 55% más de paquetes con respecto a la mejor cola que para este caso fue la que aplicó WRED&CBWFQ perdiendo en promedio entre las dos llamadas 1792 paquetes en aproximadamente tres minutos de transmisión, eso la convierte a esta última en el tipo de cola que evita la mayor retransmisión de paquetes perdidos.
- IP RTP Priority, es la cola que menor tiempo de retardo presentó en los escenarios simulados, demostrando que los paquetes no sufren esperas en los distintos nodos de la red y que evitan congestiones.
- La gestión de cola que consumió un menor Ancho de Banda es IP RTP Priority con marcadas diferencias respecto a los otros dos tipos de

encolamiento simulados. Este tipo de cola evitó que los paquetes lleguen en desorden y que existan errores en la transmisión que provoquen la corrupción de los datos o la combinación errónea de paquetes. IP RTP Priority consumió en promedio 52,23 Kbps de Ancho de Banda al momento de transmitir datos y voz a través de la Red WAN simulada.

En cuanto a los resultados obtenidos luego de realizados los cálculos de Chi cuadrado como técnica de verificación de hipótesis, se pudo concluir lo siguiente:

- El valor sin tabular de la variación de Jitter de las tres técnicas de encolamiento con respecto al valor tabulado tomado para esta investigación fue inferior para el tipo de cola WRED&CBWFQ y LLQ demostrando así que no cumplen con la hipótesis planteada y descartando estos dos tipos de cola como las mejores opciones para menorar la variación de jitter en una comunicación en tiempo real. No así con IP RTP Priority que fue la única técnica de encolamiento que superó el valor tabulado de esta investigación, demostrando el cumplimiento de la hipótesis para este indicador.
- Los resultados obtenidos en la prueba de Chi Cuadrado para determinar si el número de paquetes perdidos en los tres escenarios estudiados cumplieron con la hipótesis planteada, superaron en los tres casos, el valor tabulado para esta investigación.
- Las técnicas de encolamiento que superaron la prueba de Chi cuadrado hecha al indicador Consumo de Ancho de Banda fueron IP RTP Priority y LLQ, obteniendo un valor superior al tabulado.
- El retardo fue el único indicador que no superó el valor tabulado de la Prueba de Chi Cuadrado, demostrando el incumplimiento de la hipótesis para los tres tipos encolamiento estudiados.
- IP RTP Priority, es la técnica de encolamiento que superó con el mayor número de indicadores la verificación de la hipótesis, convirtiéndola de esta forma en la mejor técnica de encolamiento para lograr el modelo de

configuración idóneo de Calidad de Servicio que mejorará el rendimiento del tráfico de voz del Sistema de Telefonía IP de la empresa Cemento Chimborazo C.A.

- Mediante el análisis y evaluaciones realizadas, es posible asegurar que IP RTP Priority, cuenta con las características necesarias para permitir la transmisión confiable de servicios de VoIP a través de una red WAN.
- Los parámetros que determinaron la mejor técnica de manejo de colas fueron: jitter, retardo, número de paquetes perdidos y consumo de Ancho de Banda por ser los indicadores más relevantes cuando se trata de medir la eficiencia de una transmisión de voz en tiempo real.
- Para aplicar esta configuración de QoS en el Sistema de Telefonía IP de Cemento Chimborazo C.A., no hace falta adquirir ningún equipo adicional, por lo que esta solución abarata totalmente costos.

Recomendaciones

- Para evitar que exista problemas de secuencias de audio en una comunicación en tiempo real se recomienda evaluar la variación del jitter entre el punto inicial y final de la comunicación, tomando en cuenta que el valor sea igual o menor a 7,27 ms en una transmisión de voz y datos que tome como referencia de duración tres minutos, de esta forma se garantizará la fluidez en la comunicación.
- Se recomienda admitir una pérdida de paquetes máxima del 1% para que no degradar la comunicación.
- Se recomienda enfatizar en los valores de los indicadores: jitter y retardo, ya que son los más importantes al momento de elegir la mejor gestión de cola, porque sus valores influyen directamente en la calidad de la conversación.
- Se recomienda utilizar herramientas de monitoreo garantizadas, para poder medir de manera acertada el número de paquetes enviados y perdidos en

una transmisión de voz, y en base a estos resultados calcular el retardo que pueda existir.

- Se recomienda determinar el consumo de Ancho de Banda promedio que ocupa una transmisión de voz para determinar la solución que evite el desorden de los paquetes y la corrupción de los mismos.
- Se recomienda que cuando exista eventos de congestión, y el tráfico exceda el Ancho de Banda configurado, se aplique mecanismos de manejo y evasión de congestión para que pueden actuar sobre ellos a medida que circulan por la red. Así como la aplicación de IP RTP Priority como la mejor gestión de cola a configurar en los ruteadores que forman parte de la red WAN que se estudió en este trabajo.
- Se recomienda hacer uso de la guía de implementación de un modelo idóneo de Calidad de Servicio sobre el tráfico de voz, desarrollado en el presente trabajo, para mejorar el rendimiento del sistema de Telefonía IP de la Empresa Cemento Chimborazo C.A.

CAPITULO VI

LA PROPUESTA

Antecedentes de la Propuesta

El principal problema que presenta hoy en día la implantación de un sistema de Telefonía IP, es garantizar la calidad de servicio sobre una red IP. Todo sistema de Telefonía IP está expuesto en mayor o menor grado a afectaciones en su calidad de servicio las cuales son percibidas por el usuario final.

Calidad de Servicio (QoS) lo definen cuatro parámetros: ancho de banda, retardo, jitter, y pérdida de paquetes.

QoS está directamente relacionado con el tamaño de colas y la congestión de la red, con la velocidad de conmutación y ancho de banda de los enlaces.

La Telefonía IP requiere la misma calidad de transmisión que la del teléfono tradicional, ya que los usuarios de aplicaciones VOIP, necesitan obtener la misma calidad de transmisión que la recibida hasta hoy por la red telefónica básica, esto implica alta calidad en las transmisiones de voz.

Las redes en las cuales se va a implementar o se tiene implementado VOIP tal como es el caso de Cemento Chimborazo C.A., deben cumplir algunos parámetros para garantizar la calidad de servicio. Las aplicaciones de VOIP tienen una gran sensibilidad ante los retardos, y necesitan un mínimo ancho de banda garantizado.

La especificación de la ITU G.114 recomienda menos de 150 ms de retraso máximo entre los nodos extremos (bordes de la red), para tráfico en tiempo real, como la voz.

En las estrategias de operación y mejoramiento, la Empresa Cemento Chimborazo C.A. debe establecer la importancia de contar con un modelo de configuración de Calidad de Servicio dirigido a disminuir la vulnerabilidad del sistema telefónico y a dar la mejor respuesta posible a los usuarios.

Justificación

El impacto que genera un Sistema de Telefonía IP mal configurado, ocasiona problemas de Calidad de Servicio claramente percibidas por los usuarios que utilizan éste. Dicho problema no es un tema incontrolable ante el que nada se puede hacer, la experiencia demuestra que con una acertada configuración el efecto de una mala calidad será minimizado.

La implementación de la mejor configuración de Calidad de Servicio en un Sistema de Telefonía IP garantiza una respuesta eficaz en la transmisión de voz.

De esta manera, el interés primordial de las empresas como Cemento Chimborazo C.A. debe ser el mantenimiento de un servicio telefónico acorde con las necesidades, de forma que las interrupciones que se puedan presentar sean lo más breves posible. Aún reconociendo la imposibilidad de contar con sistemas que ofrezcan una disponibilidad del cien por ciento, es imprescindible resolver, de la mejor manera y en el menor tiempo posible, las dificultades que se presenten.

El presente trabajo es una recopilación de un conjunto de recomendaciones técnicas que podrán ser utilizadas por la Empresa Cemento Chimborazo C.A. de la ciudad de Riobamba para orientarla en su respuesta ante cualquier situación de

mala configuración de Calidad de Servicio en el Sistema de Telefonía IP, garantizando que el tráfico de aplicaciones de voz tengan prioridad en relación con aplicaciones tradicionales; para ello la necesidad de crear un plan de configuración donde se establezcan procedimientos necesarios para mejorar con agilidad y eficacia el sistema telefónico y permitir que los usuarios puedan contar con este servicio en condiciones adecuadas.

Objetivos

Objetivo General

Disponer de una guía técnica para la implementación del sistema de Telefonía IP con alta confiabilidad y disponibilidad para Cemento Chimborazo C.A.

Objetivos Específicos

- Desarrollar una guía técnica para la implementación del sistema de Telefonía IP en Cemento Chimborazo C.A. cumpliendo con los estándares de alta confiabilidad y disponibilidad.
- Asegurar la continuidad y calidad del servicio de voz en todo tipo de situación.
- Garantizar una respuesta eficaz que contribuya a mantener la comunicación óptima en la empresa Cemento Chimborazo C.A.

Análisis de Factibilidad

Cemento Chimborazo C.A. actualmente cuenta con una infraestructura de red que consiste de nueve enlaces de fibra óptica que llegan al Core y de éstos se distribuyen con cableado Cat. 6 hasta llegar a los puntos de usuario final, además

de los enlaces dedicados de 128 Kbps que permiten interconectar las oficinas de Ambato y de 512 Kbps que interconectan las oficinas de Quito.

La ejecución de un plan de configuración de QoS utilizando gestión de colas será posible toda vez que:

- Tiene un sistema de Telefonía IP montado sobre una infraestructura de red que tiene el Ancho de Banda suficiente como para poder distribuirlo según el IP RTP Priority.
- Se han localizado los puntos clave donde la aplicación de las métricas de Calidad de Servicio (QoS) son necesarias y, por tanto, prioritarias.
- La Cemento Chimborazo C.A. está en la capacidad de introducir este tipo de configuración en su sistema de Telefonía IP.

La implantación y desarrollo del IP RTP Priority en el sistema de Telefonía IP de Cemento Chimborazo C.A. permitirá que la transmisión de voz en tiempo real se ejecute en forma satisfactoria.

Fundamentación

Modelo Operativo

Detalle de la solución al problema

En base a la experiencia adquirida durante el desarrollo práctico del proyecto de tesis planteado, se propone la siguiente guía para la implementación de Calidad de Servicio en el Sistema de Telefonía IP de Cemento Chimborazo C.A., que está compuesta por tres fases fundamentales, las cuales permitirán a cualquier administrador de redes implementar adecuadamente IP RTP Priority como la mejor opción de gestión de cola para la transmisión de voz en tiempo real.

La Figura 6.1 muestra la propuesta de implementación de la gestión de cola IP RTP Priority para lograr Calidad de Servicio en el sistema de Telefonía IP de Cemento Chimborazo C.A.

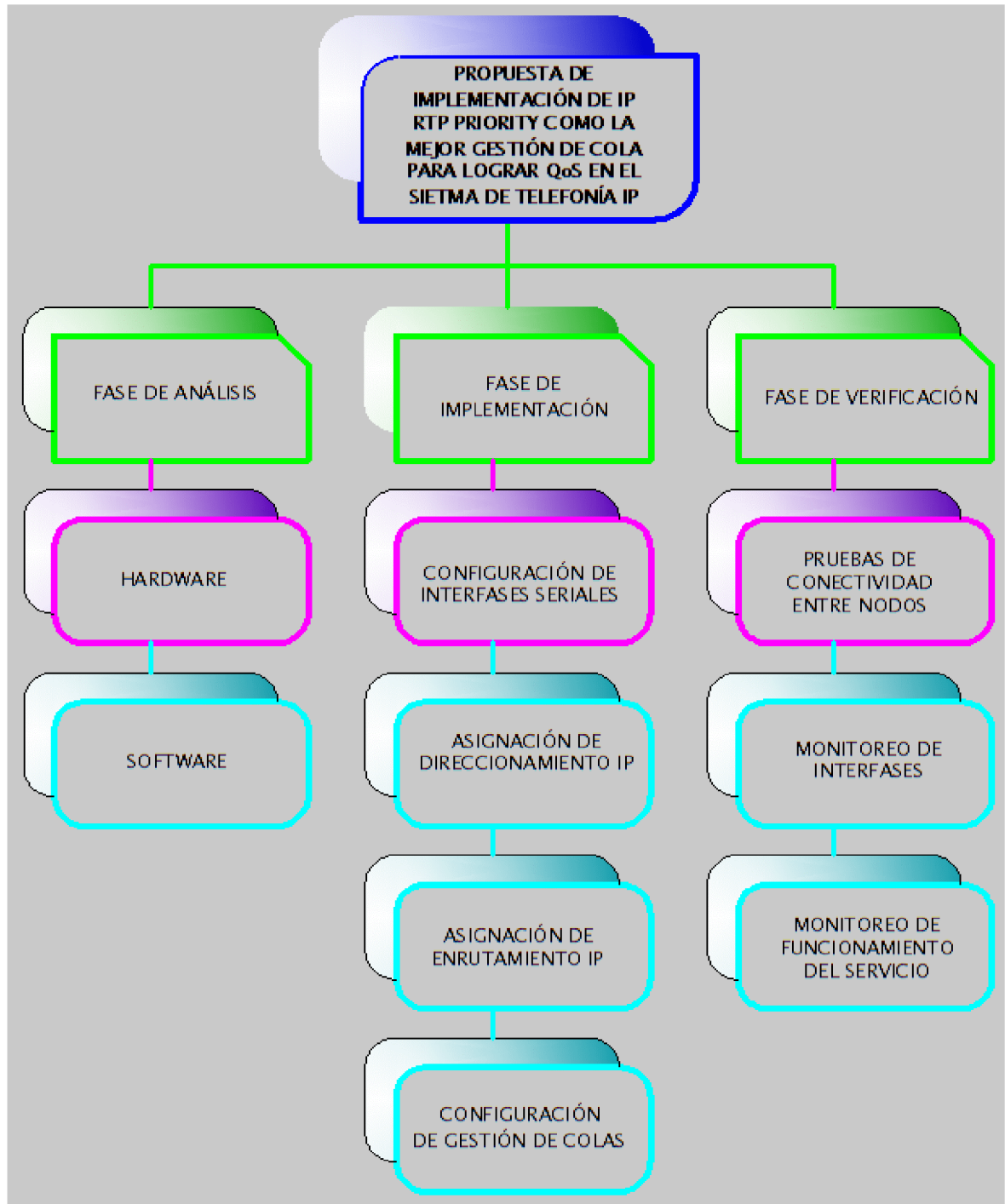


Figura 6.1. Propuesta de implementación de IP RTP Priority

FASE DE ANÁLISIS

En esta fase se analiza la infraestructura necesaria tanto en la parte de hardware y software requerida para la implementación del IP RTP Priority.

HARDWARE

El administrador de la red debe primero revisar su infraestructura para determinar si los equipos que posee soportan la implementación de gestión de colas.

De la investigación realizada Cisco Systems es la empresa comercial que maneja la mayor cantidad de gestión de colas en sus equipos.

SOFTWARE

En cuanto a los programas de monitoreo que se van a utilizar, revisar que midan los parámetros más sobresalientes en una transmisión de voz.

Del estudio realizado se recomienda hacer uso de las aplicaciones Wireshark y VQManager, por su fácil manejo y precisión al momento de monitorear las métricas de Calidad de Servicio (QoS) en el tráfico de voz.

FASE DE IMPLEMENTACIÓN

En esta fase se detallan los pasos a seguir para la implantación y puesta en funcionamiento de la cola IP RTP Priority como la mejor configuración de Calidad de Servicio en el tráfico de voz del Sistema de Telefonía IP en Cemento Chimborazo C.A.

La figura 6.2. se indica el escenario de pruebas en la que se configuró la cola IP RTP Priority.

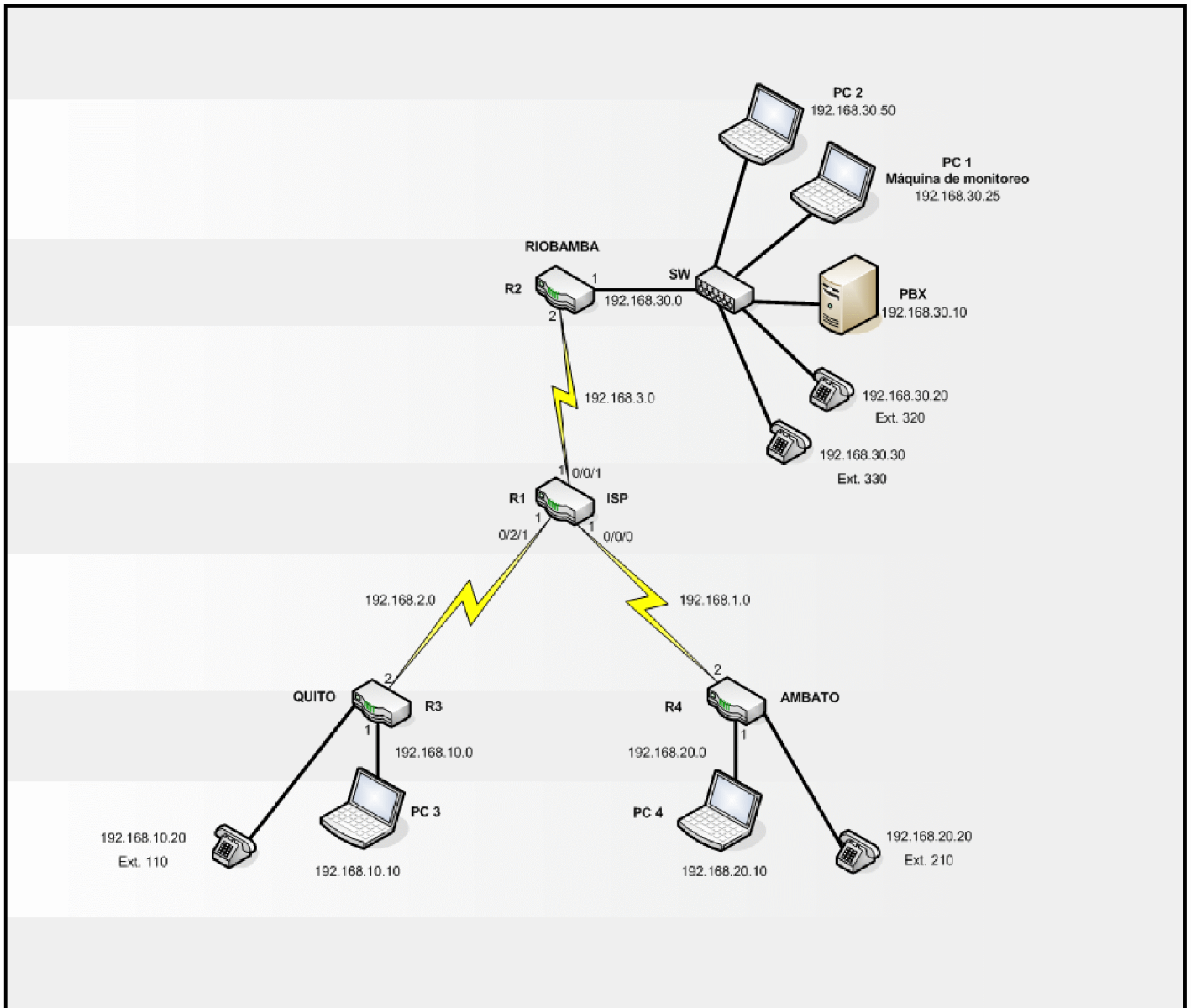


Figura 6.2. Escenario de pruebas donde se aplicó IP RTP Priority

5. Configuración de interfaces seriales, asignación de direccionamiento IP y configuración de enrutamiento IP.

Para el funcionamiento de cualquier equipo de interconexión es necesario primero configurar las interfaces que permiten la comunicación de los enlaces entre los equipos (el plan de direccionamiento está tomado del escenario de pruebas)

En cuanto al enrutamiento IP, se recomienda la utilización del protocolo EIGRP (Extended Internal Gateway Routing Protocol), por ser uno de los mejores algoritmos de ruteo frente a otros protocolos.

Estas configuraciones se las debe realizar en cada ruteador que forme parte de la WAN de Cemento Chimborazo C.A., tal como se muestra a continuación:

ROUTER ISP

Asignar un nombre al equipo:

```
Router>enable
Router#conf t
Router(config)#hostname ISP
```

Configurar sus interfaces:

```
ISP(config)#interface serial 0/0/1
ISP(config-if)#ip add 192.168.3.1 255.255.255.0
ISP(config-if)#clock rate 128000
ISP(config-if)#no shutdown
ISP(config-if)#exit
ISP(config)#interface serial 0/2/1
ISP(config-if)#ip add 192.168.2.1 255.255.255.0
ISP(config-if)#clock rate 128000
ISP(config-if)#no shutdown
ISP(config-if)#exit
ISP(config)#interface serial 0/0/0
ISP(config-if)#ip add 192.168.1.1 255.255.255.0
ISP(config-if)#clock rate 128000
ISP(config-if)#no shutdown
ISP(config-if)#exit
```

Levantar Ruteo:

```
ISP(config)#router eigrp 10
ISP(config-router)#network 192.168.3.0
ISP(config-router)#network 192.168.2.0
ISP(config-router)#network 192.168.1.0
```

ROUTER RIOBAMBA

Asignar un nombre al equipo:

```
Router>enable
Router#conf t
Router(config)#hostname RIOBAMBA
```

Configurar sus interfaces:

```
RIOBAMBA(config)#interface serial1
RIOBAMBA(config-if)#ip add 192.168.3.2 255.255.255.0
RIOBAMBA(config-if)#no shutdown
RIOBAMBA(config)#interface fa 0/1
RIOBAMBA(config-if)#ip add 192.168.30.1 255.255.255.0
RIOBAMBA(config-if)#no shutdown
```

Levantar Ruteo:

```
RIOBAMBA(config)#router eigrp 10
RIOBAMBA(config-router)#network 192.168.30.0
RIOBAMBA(config-router)#network 192.168.3.0
```

ROUTER QUITO

Asignar un nombre al equipo:

```
Router>enable
```

```
Router#conf t
Router(config)#hostname QUITO
```

Configurar sus interfaces:

```
QUITO(config)#interface serial1
QUITO(config-if)#ip add 192.168.2.2 255.255.255.0
QUITO(config-if)#no shutdown
QUITO(config)#interface fa 0/1
QUITO(config-if)#ip add 192.168.10.1 255.255.255.0
QUITO(config-if)#no shutdown
```

Levantar Ruteo:

```
QUITO(config)#router eigrp 10
QUITO(config-router)#network 192.168.10.0
QUITO(config-router)#network 192.168.2.0
```

ROUTER AMBATO

Asignar un nombre al equipo:

```
Router>enable
Router#conf t
Router(config)#hostname AMBATO
```

Configurar sus interfaces:

```
AMBATO(config)#interface serial1
AMBATO(config-if)#ip add 192.168.1.2 255.255.255.0
AMBATO(config-if)#no shutdown
AMBATO(config)#interface fa 0/1
AMBATO(config-if)#ip add 192.168.20.1 255.255.255.0
AMBATO(config-if)#no shutdown
```


Levantar Ruteo:

```
AMBATO(config)#router eigrp 10  
AMBATO(config-router)#network 192.168.20.0  
AMBATO(config-router)#network 192.168.1.0
```

Una vez realizadas las configuraciones, comprobar que la comunicación entre todos los equipos estén perfectamente habilitadas. Mediante la utilización de los comandos de red *ping* y *traceroute*.

6. Configuración de IP RTP Priority

Una vez configurado la parte básica de ruteo y comunicación en la red se procede a configurar el IP RTP Priority que se encargará de reservar de manera estricta un Ancho de Banda para el paso de todos los paquetes RTP que viajen por la red.

Es necesario realizar la configuración en todos los routers de la red WAN de Cemento Chimborazo C.A. para garantizar que IP RTP Priority cumpla con el objetivo para el que fue desarrollado. La configuración de IP RTP Priority es la siguiente:

ROUTER ISP

```
ISP#conf t  
ISP(config-if)# ip rtp priority 100
```

ROUTER RIOBAMBA

```
RIOBAMBA#conf t  
RIOBAMBA(config-if)# ip rtp priority 100
```

ROUTER QUITO

```
QUITO#conf t
QUITO(config-if)# ip rtp priority 100
```

ROUTER AMBATO

```
AMBATO#conf t
AMBATO(config-if)# ip rtp priority 100
```

7. Configuración del factor limitante del Ancho de Banda

El valor por defecto utilizado como factor limitante de Ancho de Banda es de 75%

ROUTER ISP

```
ISP#conf t
ISP(config-if)# max-reserved-bandwidth 75
```

ROUTER RIOBAMBA

```
RIOBAMBA#conf t
RIOBAMBA(config-if)# max-reserved-bandwidth 75
```

ROUTER QUITO

```
QUITO#conf t
QUITO(config-if)# max-reserved-bandwidth 75
```

ROUTER AMBATO

```
AMBATO#conf t
AMBATO(config-if)# max-reserved-bandwidth 75
```

8. Verificación del IP RTP Priority

Una vez configurado el IP RTP Priority, se recomienda verificar su configuración, mediante la utilización del siguiente comando:

```
Router# show queue interface-type interface-number
```

Terminadas las respectivas configuraciones, el administrador podrá enviar tráfico de datos y voz para aprovechar las características del tipo de cola que fue estudiada y comprobada en la presente investigación.

FASE DE VERIFICACIÓN Y MONITOREO

Una vez configurado y puesto en marcha el IP RTP Priority para la transmisión de Telefonía IP con tráfico de red, se debe acceder hacia la interfaz de línea de comando de cada uno de los routers para realizar la verificación de la correcta configuración del protocolo.

Y aprovechando las ventajas que ofrece Wireshark y VQManager como herramientas de monitoreo, se debe controlar el tráfico RTP midiendo los parámetros que indican si el sistema de telefonía es óptimo o no; éstos son: jitter, retardo, Ancho de Banda y número de paquetes perdidos.

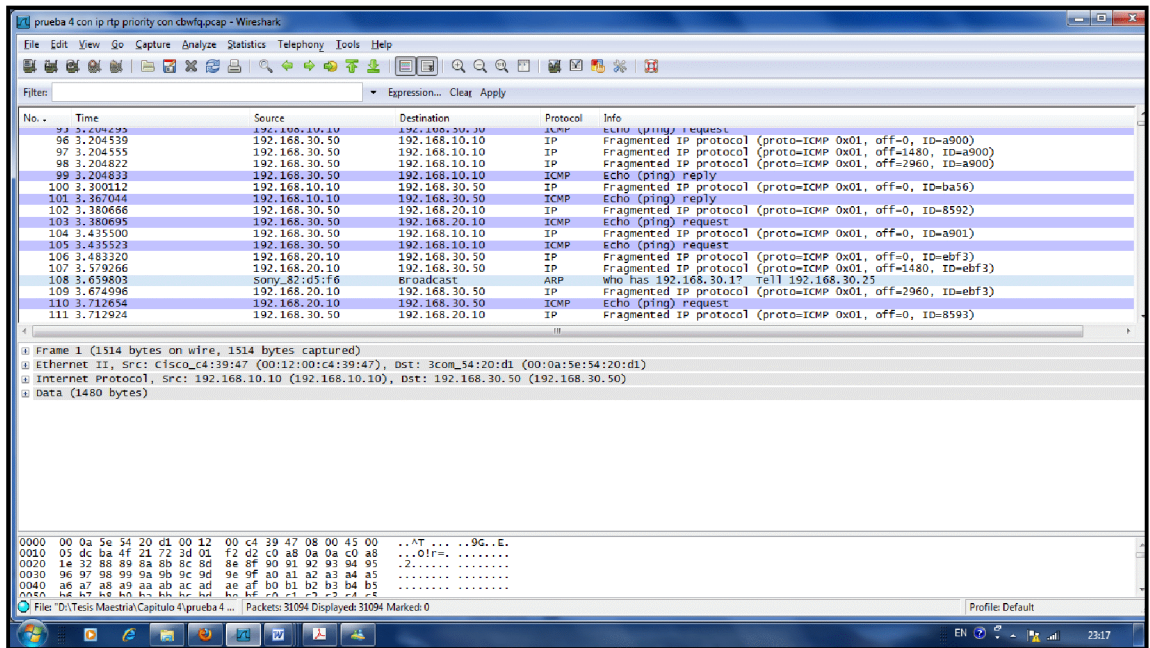


Figura 6.3. Interfaz Wireshark

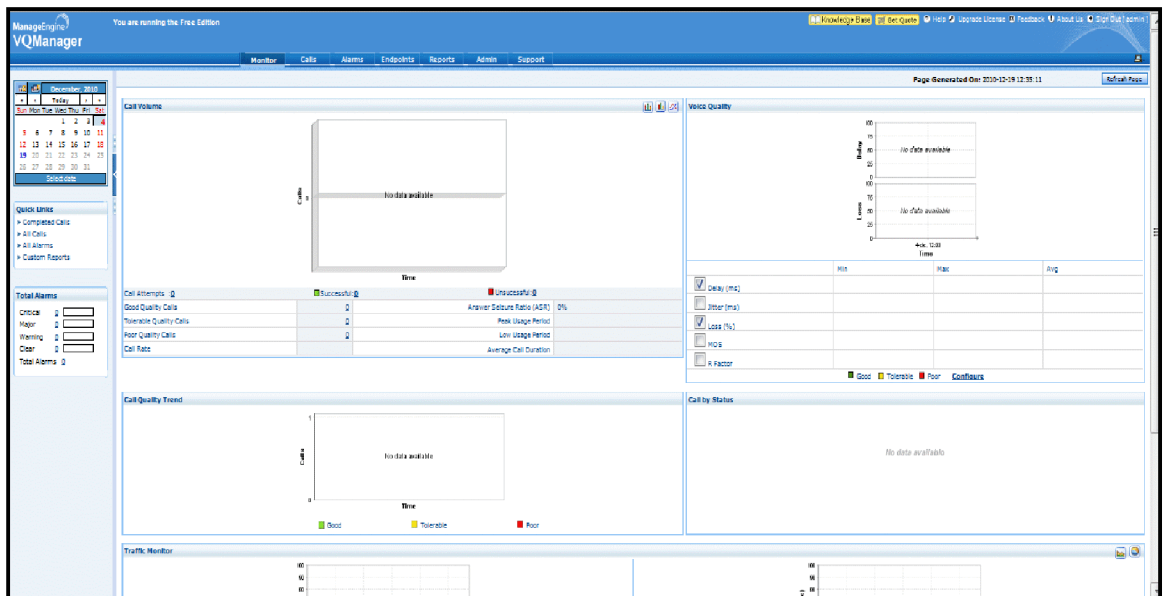


Figura 6.4. Interfaz VQManager

Previsión de la Evaluación

Corresponde a los Directivos de la Empresa y especialmente al Administrador de Red de Cemento Chimborazo C.A. aprobar la Guía de Implementación de

configuración de Calidad de Servicio para el Sistema de Telefonía IP de la Empresa, de forma que se pueda aplicar en el momento que sea necesario.

También deberán responsabilizarse, a su vez, de establecer el mecanismo de revisión y evaluación periódica de la Guía de Implementación propuesta, para lo cual se podrá hacer uso de las simulaciones en los niveles de participación que corresponda.

BIBLIOGRAFÍA

Tecnología VoIp y Telefonía IP – José Manuel Hidrovo Moya / Davis Roldán Martínez – I Edición – México – Julio 2006

Redes de Comunicación / Conceptos Fundamentales y Arquitecturas Básicas – Alberto León García – McGraw Hill – 2002

Guía completa de Protocolos de Telecomunicaciones – McGraw Hill – Serie de Telecomunicaciones

Redes y Comunicaciones – José Manuel Huidrovo – Editorial Paraninfo S.A

Instalación y Mantenimiento de Servicios de Redes Locales – Francisco José Molina Robles – Alfaomega Grupo Editor – 2005

www.voipenmexico.com/la-telefonía-voip.php - Grupo VOIP México – Marzo 2009

www.iponline.com.ar/es/calidad-de-servicio_QoS.php

www.mundo-contact.com/revistas/mundocontact/ip/valorip.htm

www.mundo-contact.com.mx/Acervo/9BACastro.pdf

www.voipforo.com/QoS/QoS_Jitter.php

blog.sitatel.com/prueba-de-conexion-y-calidad-de-internet-para-usar-telefonía-ip-voip/

html.rincondelvago.com/voz-sobre-ip_voip.html

www.eveliux.com/mx/modelo-de-un-sistema-de-comunicaciones.php

www.itu.int/ITU-D/finance/work-cost-tariffs/events/tariff-seminars/mexico-03/tal-03-03lessey-es.pdf

www.itu.int/ITU-T/special-projects/ip-policy/final/IPPolicyHandbook-S.pdf

es.wikipedia.org/wiki/Atenuaci3n_de_una_seal

www.adiptel.com/soluciones/codec.php

www.telefoniavozip.com/voip/codecs-voip.htm

www.euskalnet.net/apetxebari/nu_tecs/tele_ip.htm

es.wikipedia.org/wiki/Cableado_estructurado

dihana.cps.unizar.es/investigacion/voz/coder.html

www.monografias.com/trabajos37/codificacion/codificacion.shtml

www.biblioteca.universia.net/ficha.do?id=34395598

www.it.uc3m.es/cgarcia/articulos/tesis-carlos-garcia-15jun.pdf

www.tdr.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0928105-135022//04Dc04de16.pdf

www.postgrado.info.unlp.edu.ar/Carrera/Magister/Redes%20de%20Datos/Tesis/Tesis%20Perez%20David.pdf

postgrado.info.unlp.edu.ar/Carrera/Magister/Redes%20de%20Datos/Tesis/Tesis%20Perez%20David.pdf

postgrado.info.unlp.edu.ar/Carrera/Magister/Redes%20de%20Datos/Tesis/Robles%20Matias.pdf

ANEXOS