

DISEÑO DE LA RED DE CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA CON CALIDAD DE SERVICIO (QoS) EXTREMO A EXTREMO BAJO EL ESTÁNDAR DIFFSERV SOPORTADO POR EL PROTOCOLO MPLS



**MARINELLA RAMIREZ BRAVO
JULIO CESAR ORDOÑEZ TROCHEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES
LINEA DE I+D GESTION INTEGRADA DE REDES, SERVICIOS Y ARQUITECTURAS DE
TELECOMUNICACIONES
ÁREA DE INTERÉS: SISTEMAS DE BANDA ANCHA
GRUPO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TELECOMUNICACIONES
POPAYÁN – COLOMBIA
2005**

DISEÑO DE LA RED DE CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA CON CALIDAD DE SERVICIO (QoS) EXTREMO A EXTREMO BAJO EL ESTÁNDAR DIFFSERV SOPORTADO POR EL PROTOCOLO MPLS



**MARINELLA RAMIREZ BRAVO
JULIO CESAR ORDOÑEZ TROCHEZ**

Documento Final
Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero en
Electrónica y Telecomunicaciones

Director:
MsC. GIOVANNY LOPEZ

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES
LINEA DE I+D GESTION INTEGRADA DE REDES, SERVICIOS Y ARQUITECTURAS DE
TELECOMUNICACIONES
ÁREA DE INTERÉS: SISTEMAS DE BANDA ANCHA
GRUPO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TELECOMUNICACIONES
POPAYÁN – COLOMBIA
2005**

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCION

1.	CALIDAD DE SERVICIO (QoS) EN REDES IP.....	1
1.1.	Panorama actual de la red.....	2
1.1.1.	Tratamiento de los servicios en IP.....	2
1.1.2.	Congestión en redes IP.....	4
1.1.2.1.	Mecanismos propios de las redes IP para prevenir la congestión.....	4
1.1.2.2.	Medidas tomadas por los administradores de red para disminuir la congestión.....	5
1.1.3.	Calidad de los servicios enviados a través de una red IP.....	6
1.1.4.	Motivación al uso de técnicas de calidad.....	8
1.2.	Calidad y Servicio.....	10
1.2.1.	Calidad del servicio (QoS).....	10
1.2.2.	Clases de servicio (CoS).....	11
1.2.3.	Tipo de servicio (ToS).....	13
1.3.	Requerimientos de QoS.....	13
1.3.1.	QoS ofrecido por el proveedor de servicios.....	14
1.3.2.	QoS obtenido en la red del proveedor de servicios.....	14
1.4.	Parámetros para establecer QoS en una red.....	15
1.4.1.	Retardo medio de paquetes.....	15
1.4.2.	Latencia.....	15
1.4.3.	Jitter.....	16
1.4.4.	Ancho de banda (BA).....	16
1.5.	Técnicas que ofrecen QoS.....	17
1.5.1.	Servicios integrados (IntServ).....	17
1.5.2.	Servicios diferenciados (DiffServ).....	18
1.5.3.	Conmutación de Etiquetas Multiprotocolo.....	19
1.5.4.	Combinación de técnicas de QoS.....	20
1.5.4.1.	Intserv con DiffServ.....	20
1.5.4.2.	MPLS con IntServ.....	21
1.5.4.3.	MPLS con DiffServ.....	21
1.6.	QoS e Internet de próxima generación.....	21
2.	ARQUITECTURA DE DIFFSERV.....	25
2.1.	Calidad en el servicio en la red IP.....	25
2.1.1.	Red Área local.....	25
2.1.2.	WAN.....	27
2.2.	Servicios diferenciados (Diffserv).....	28
2.2.1.	Elementos funcionales de DiffServ.....	28
2.2.2.	Funciones en una red DiffServ.....	29



2.3.	Clasificación de datos en redes DiffServ	31
2.4.	Marcación y priorización de datos	31
2.4.1.	Servicios diferenciados (DS)	32
2.4.2.	Relación entre el Phb y los diferentes valores de DSCP	32
2.5.	Administración de la congestión.....	33
2.5.1.	Manejo de la congestión	34
2.5.1.1.	Cola GPS	34
2.5.1.2.	Cola FIFO	34
2.5.1.3.	Cola de prioridad	35
2.5.1.4.	Encolamiento justo (encolamiento por flujos)	36
2.5.1.5.	Encolamiento por pesos (WFQ)	37
2.5.1.6.	Encolamiento basado en clases (CBQ).....	38
2.5.2.	Algoritmo de encolamiento seleccionado	39
2.6.	Eliminación de la congestión.....	39
2.6.1.	Tail drop	39
2.6.2.	Detección aleatoria temprana (RED).....	40
2.6.2.1.	Funcionamiento de RED	40
2.6.2.2.	Características de RED	41
2.6.3.	Red por clases (WRED).....	41
2.6.3.1.	Bloques funcionales de WRED	42
2.6.4.	Notificación explícita de congestión (ECN)	43
2.6.4.1.	Funcionamiento de ECN.....	43
2.6.4.2.	Características de ECN	43
2.6.5.	Modelo de descarte seleccionado	43
2.7.	Medición de tráfico.....	44
2.7.1.	Técnica token bucket	44
2.7.2.	Mecanismos para controlar el tráfico.....	46
2.7.2.1.	Conformación de tráfico (traffic shaping)	46
2.7.2.2.	Traffic policing	47
2.8.	Alcances de DiffServ	48
3.	DIFFSERV SOBRE MPLS.....	49
3.1.	Razones para no implementar MPLS en una red LAN	50
3.2.	Razones para implementar QoS en un backbone IP/MPLS.....	50
3.2.1.	Calidad de servicio con MPLS	52
3.2.2.	Beneficios de MPLS para el backbone	52
3.3.	RFC 3270: MPLS support of differentiated services	53
3.4.	Esquemas de transporte en MPLS.....	54
3.5.	Caminos conmutados definidos en MPLS	56
3.5.1.	E-LSP.....	57
3.5.2.	L-LSP	58
3.5.3.	Comparación y utilidad de los L-LSP y E-LSP	59
3.5.4.	Proceso para mapear PHB'S al campo EXP del E-LSP y L-LSP	59
3.6.	Manejo de etiquetas y tuneles con QoS en MPLS	60
3.6.1.	Túneles MPLS para soportar QoS	61
3.6.2.	Túnel modo uniforme	61
3.6.3.	Modo short-pipe.....	62
3.6.4.	Modo PIPE	63
3.7.	MPLS como complemento de DiffServ	64
4.	QoS PARA LA RED DE DATOS DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA.....	66
4.1.	Red de la Unicauca	68



4.1.1. Portafolio de servicios de la red de datos de Unicauca.....	68
4.1.1.1. Servicios internos	69
4.1.1.2. Servicios externos	70
4.1.2. Infraestructura de red	70
4.1.2.1. Topología de la red de datos de Unicauca	71
4.1.2.2. Conectividad Internet.....	74
4.1.2.3. Configuración de la intranet en la Universidad del Cauca.....	75
4.1.2.4. Configuración TCP/IP para los equipos de la Universidad del Cauca	75
4.1.3. Modelo de evolución de la red de datos de Unicauca hacia servicios con QoS.....	77
4.2. Requisitos sugeridos para la red de Unicauca y ISP	79
4.2.1. Clases de servicio	80
4.2.2. Parámetros ha habilitar en cada segmento de la red LAN y WAN	80
4.2.2.1. Red de acceso y distribución de la red LAN	81
4.2.2.2. Equipo de frontera de la red LAN/WAN.....	81
4.2.2.3. Enrutadores (red WAN)	82
4.2.3. SLA sugeridos para la red de datos de la Unicauca	82
4.2.3.1. Requisitos de QoS para servicios de voz	82
4.2.3.2. Requisitos de QoS para servicios de video	84
4.2.3.3. Requisitos de QoS para servicios de datos	85
4.2.4. Requerimientos de QoS para el ISP	85
4.3. Definición de la política de QoS para la red de Unicauca	86
4.3.1. Mecanismos de QoS	87
4.3.1.1. Clasificación, marcación y definición de PHB	87
4.3.1.2. Traffic shaping	88
4.3.1.3. Control y administración de la congestión.	89
4.3.2. Control y tráfico de voz.	89
4.3.3. Video-conferencia.....	90
4.3.3.1. Flujo de video	90
4.3.3.2. Datos de misión-crítica	90
4.3.4. Datos.....	91
4.4. Implementación de qos en la red de Unicauca	91
4.4.1. Diseño de los puntos de presencia	92
4.4.2. Estimación del tráfico en cada punto de presencia.....	93
4.4.3. Ancho de banda de los enlaces	94
4.4.4. Asignación de las prioridades	95
4.4.5. Selección de equipos de red.....	95
4.4.5.1. Solución de frontera (cisco 4600).....	95
4.4.5.2. Plataforma de distribución (cisco 3750).....	95
4.5. Implementación de qos en la red del proveedor	96
4.5.1. Diseño de los puntos de presencia.	97
4.5.2. Diseño de la topología del backbone de red.....	98
4.5.3. Calcular el ancho de banda de los enlaces	99
4.5.4. Asignar la capacidad de los enlaces	99
4.5.5. Verificar la selección de equipos de red.....	99
4.6. Alcance y efectividad de la solución: QoS e2e	100
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
ACRONIMOS.....	104
GLOSARIO	109
BIBLIOGRAFIA	116

FIGURAS

	Pág.
Figura.1-1. Problemas de calidad en la red.....	6
Figura.1-2. Clase de Servicio	12
Figura.1-3. Formato de ToS	13
Figura.1-4. Jitter	16
Figura.1-5. Etiqueta MPLS	19
Figura.1-6. Arquitectura de QoS con diferentes tecnologías	20
Figura.2- 1. Red DiffServ	29
Figura.2- 2. Bloques funcionales de un nodo DiffServ	29
Figura.2- 3. Campo Diffserv con sus componentes DSCP y Reserved	32
Figura.2- 4. Comportamiento de la red frente a la congestión.....	33
Figura.2- 5. Encolamiento por prioridad con sus tres colas de prioridad	35
Figura.2- 6. Encolamiento justo con un programador colas a la salida	36
Figura.2- 7. Orden de salida en un esquema de encolamiento por pesos	37
Figura.2- 8. Perfiles de RED.....	40
Figura.2- 9. Cola WRED	41
Figura.2- 10. Bloques funcionales de WRED	42
Figura.2- 11. ECT y CE	43
Figura.2- 12. Token Bucket	45
Figura.2- 13. Esquema de Traffic shaping con Token Bucket implementado.....	46
Figura.2- 14. Tráfico sin shaping	47
Figura.2- 15. Tráfico con shaping.....	47
Figura.3- 1. Calidad del servicio en la red Backbone	49
Figura.3- 2. Etiqueta MPLS con su componente de CoS	54
Figura.3- 3. Esquema de transporte en MPLS.	54
Figura.3- 4. Creación de LSP y envío de paquetes a través de un dominio MPLS.	55
Figura.3- 5. E-LSP.....	58
Figura.3- 6. L-LSP.....	58
Figura.3- 7. Ubicación de la etiqueta MPLS dentro de una celda ATM	59
Figura.3- 8. Selección del PHB.	61
Figura.3- 9. Tuneleo en modo uniforme	62
Figura.3- 10. Modelo de Tuneleo en Modo Short Pipe	63
Figura.3- 11. Tuneleo en Modo Pipe	63
Figura.4-1 Topología de la Red de Datos de la Universidad del Cauca.	72
Figura.4-2 Instituto de Postgrados de Electrónica y Telecomunicaciones.....	73
Figura.4-3 Áreas donde se necesita habilitar QoS.	78
Figura.4-4 División de la red de la Universidad del Cauca	81
Figura.4-5 Requisitos de ancho de banda para sesión de 384 kbps.....	84
Figura.4-6 Requerimientos de QoS para el proveedor de servicio	85
Figura.4-7 Nuevos puntos de presencia para la red de Datos	92
Figura.4-8 Tráfico entrante puerto 200.21.83.129	94
Figura.4-9 Trafico saliente puerto 200.21.83.129.....	94
Figura.4-10 Topología de Diseño. Las líneas gruesas indica el Core IP/MPLS.	98

TABLAS

Pág.

Tabla.1-1. Esquema de clasificación de servicios	11
Tabla.2-1. Traslación de tipo de servicio a valor de prioridad en IEEE.802.1p	26
Tabla.2-2. Relación entre el Comportamiento por Salto (PHB) y el campo DSCP	32
Tabla.3-1. Clases de servicio en MPLS.....	52
Tabla.3-2. Ejemplo de tabla LIB.	56
Tabla.4-1. Conectividad Internet	75
Tabla.4-2. Portafolio de servicios de la red de Datos al aplicar métricas de QoS	79
Tabla.4-3. Ancho de banda del servicio de voz (sin la cabecera de la Capa 2)	83
Tabla.4-4. Ancho de banda para la voz (con la cabecera de la Capa 2).....	83
Tabla.4-5. Clasificación de los servicios según los campos de las etiquetas PHB, DSCP y EXP	88

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

A Giovanni Lopez, Magister de Departamento de Telecomunicaciones y director del proyecto, por su disposición, paciencia y colaboración en la búsqueda de nuevos horizontes, mas allá del mundo académico, donde consolidamos nuestro trabajo de grado y dimos nuestros primeros pasos en el mundo laboral.

Nuestro especial agradecimiento a Ing. Oscar Calderon y al Ing. Alejandro Toledo, docentes de la Universidad del Cauca, pioneros en la investigación Tecnologías de Banda Ancha en especial MPLS. La colaboración que nos prestaron, como revisores, supervisores y asesores de nuestro trabajo de grado, nos permitió definir la metodología de investigación más adecuada, para llevar a buen término el presente trabajo de grado.

Al Ing. José Navarro, SE Cisco Systems Colombia/Ecuador por su colaboración y apoyo para realizar las practicas en el laboratorio de Cisco Colombia, por brindarnos el espacio para la realización de las pruebas y por sus valiosas orientaciones.

Al Dr. Orlando Patiño Silva Presidente de EMTELCO S.A., Ing. Luis Fernando Sánchez, Coordinador de Expansión por permitirnos ser parte del grupo de Evolución tecnológica MPLS EMTELCO S.A.& EPM. A los integrantes de grupo de Evolución de EMTELCO S.A. por acogernos y hacernos partícipes de sus laboratorios, a EPM Medellín y Emtelco S.A por permitirnos conocer su infraestructura y consolidar nuestras practica. Esta colaboración nos permitió conocer las tendencias del mercado, el entorno en que se desarrolla una empresa nacional de telecomunicaciones, conocer la infraestructura y permitirnos hacer pruebas sobre ella.

A la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones y su cuerpo de profesores por su labor académica y formativa; y a las personas que de una u otra manera aportaron en la consecución de este trabajo. A todos, Muchas Gracias!!!

Gracias a Dios, por poner en mí camino a tantas personas quienes han contribuido de forma significativa a este trabajo y a mi vida.

A mis madres: Manuel y Moralba por su cariño, amor y por enseñarme a tener fortaleza, a continuar adelante sobrepasando las circunstancias que la vida me ha presentado.

A mis hermanos: Carlos y William por su apoyo y afecto.

A Jacinto por su amor, comprensión y paciencia.

A mis abuelitos: Reinaldo[†] y Rebeca por sus consejos y enseñanzas

A mis amigos por compartir mis alegrías, mis penas y por tener palabras de aliento.

A Julito, por brindarme su apoyo y "darme siempre una manito" cuando lo he necesitado.

Marinella

INTRODUCCION

La red Internet se ha convertido en una de las herramientas de comunicación más empleadas en los últimos tiempos, lo que ha creado la necesidad de tener nuevos requerimientos tanto en protocolos como en tecnologías que soporten las aplicaciones solicitadas por los clientes. Dentro de las demandas más importantes se tienen las concernientes a Calidad de Servicio (QoS) y ancho de banda; estas necesidades han desarrollado toda una gama de esquemas de solución enfocadas a la satisfacción del usuario y a un rápido retorno de inversión para los Proveedores de Servicios (SP's – *Service Provider*).

Con la creciente necesidad de evolución en la infraestructura de las telecomunicaciones, las empresas proveedoras de servicio se han visto en la necesidad de manejar políticas de calidad no sólo para garantizar la entrega eficiente y económica de las aplicaciones en Internet, sino también para asignar los recursos que les permitan administrar de forma segura sus servicios. Dentro de los esquemas ha implementar en la red para soportar calidad se tiene DiffServ (*Differentiated Services*), el cual es una arquitectura de capa de red, que agrupa los requerimientos de calidad utilizando métodos para categorizar el tráfico y para lograr la calidad requerida emplea protocolos de señalización y mecanismos de análisis de colas (FIFO, WFQ, RED, WRED) que brindan tratamiento adecuado a los servicios demandados por los clientes.

Para fortalecer la categorización lograda con DiffServ, es necesario emplear un esquema adicional que ofrezca velocidad, escalabilidad, facilidades adicionales de QoS e Ingeniería de Tráfico (TE - Traffic Engineering) en el ámbito metropolitano y la Conmutación de Etiquetas (MPLS - Multiprotocol Label Switching) es una alternativa. MPLS con su funcionalidad de enrutamiento explícito, permite enfrentar muchas de las desventajas asociadas con los esquemas de enrutamiento de las redes IP, al introducir una serie de ventajas y mejoras al modelo implementado en estas redes. La tecnología MPLS provee un ambiente orientado a conexión que habilita y facilita la introducción de parámetros de QoS extremo a extremo (e2e).

Las redes con DiffServ- MPLS pueden garantizar ancho de banda para varios flujos de tráfico, lo cual es una condición fundamental para poder proveer calidad de servicio extremo a extremo en las redes. Por consiguiente, en las aplicaciones de tiempo real, sensibles al retardo y al jitter, DiffServ-MPLS es la combinación que permite el tratamiento diferenciado basado en clases para distintos flujos de tráfico, garantizando que la QoS



solicitadas por el cliente (desde una red LAN), se mantengan por infraestructura de red, hasta llegar a su destino final.

Este trabajo titulado “Diseño de la red de campus de la Universidad del Cauca con Calidad de Servicio (QoS) extremo a extremo bajo el estándar DiffServ soportado por el protocolo MPLS” está basado en el enfoque de Servicios Diferenciados como la técnica básica para proveer QoS, y complementado con MPLS para un óptimo desempeño.

DiffServ requiere que la red de campus realice diferenciación de tráfico y mapeo a nivel 2 de los requerimientos de QoS necesarios para los servicios soportados por este tipo de red. Esta diferenciación se agrupará en el componente de frontera LAN/WAN, manteniéndose en el nivel 3 los parámetros de QoS definidos en la LAN, este procedimiento se logra gracias a la arquitectura DiffServ. El tratamiento dado al tráfico en la red WAN se complementará con la implementación de MPLS para darle un trato acelerado al tráfico que así lo requiera.

A continuación se estudian estos mecanismos, y se define la estrategia de adecuación de la Red de Datos de la Universidad del Cauca, con el fin de obtener una implementación de QoS e2e, para proveer calidad de servicio sobre toda la red. El documento se estructura en dos bloques; el primero está orientado a la descripción detallada de las técnicas y herramientas para proveer QoS (base conceptual de los tres primeros capítulos) y el segundo bloque desarrolla la estrategia de migración para la inclusión de QoS en la red de Unicauca.

A lo largo del trabajo, una parte de la terminología técnica se presenta en inglés, dado que según el contexto manejado, con la traducción se pierde la esencia del término. Todos los acrónimos utilizados corresponden a la terminología en Inglés

El Capítulo I **Calidad en el Servicio (QoS) en Redes IP**. Explica la situación actual del concepto de QoS, la definición de los diferentes parámetros que cuantifican la QoS para las redes IP, teniendo en cuenta los estándares definidos por la IETF.

El Capítulo II **Mecanismos para implementar QoS en una red**. Se analizarán procesos de encolamiento, enrutamiento, clasificación y determinación del perfil de tráfico para garantizar los parámetros de QoS.

El capítulo III **Estándar de Diferenciación en el Servicio sobre MPLS**. Se tratará el estándar DiffServ, y como MPLS provee tráfico cualitativo (CoS) y cuantitativo (QoS), implementado el estándar de Diferenciación en el Servicio como una de las técnicas de QoS especificadas por la IETF.



El Capítulo IV **Evolución de la Calidad en el Servicio en la Red de Datos de la Universidad del Cauca**. Presenta la estrategia de migración para una red y se incluyen las recomendaciones sobre la incorporación de MPLS en la red de la Unicauca.

Anexos. Profundizan conceptos relacionados, que son fundamentales para la comprensión completa de los capítulos y que hacen parte del fundamento teórico de los mismos.

Recomendaciones. Se definirán los requerimientos, parámetros, topologías y equipos necesarios para implementar Calidad en el Servicio extremo-extremo para servicio de voz y datos.

CAPITULO I

CALIDAD DE SERVICIO (QoS) EN REDES IP

Con millones de usuarios en decenas de miles de localidades alrededor del mundo que dependen de Internet como parte de su ambiente diario de trabajo, puede parecer que ésta tecnología tiene una infraestructura estable; sin embargo a pesar de las apariencias, ni Internet ni el conjunto de protocolos TCP/IP poseen mecanismos robustos a la hora de soportar los servicios demandados por los usuarios, ya que con el auge de las redes IP y el crecimiento exponencial de los servicios de voz, datos y video se hace necesario implementar esquemas alternativos en el tratamiento de envío que permitan a Internet soportar estos requerimientos actuales y los futuros. Es aquí donde los investigadores entran a estudiar y resolver los problemas de la red y los ingenieros se enfocan a mejorar los mecanismos subyacentes; lo que ayuda a que la tecnología esté en constante evolución.

Pero si la tecnología básica de Internet ha funcionado bien hasta ahora ¿Por qué debería modificarse? La razón se basa en el despliegue y comercialización masiva de la red IP, que demanda la necesidad de soportar servicios más allá del envío de datos para lo cual esta fue creada. Servicios tales como: voz IP, multimedia y vídeo son aplicaciones que requieren mayor capacidad, mejor calidad en el servicio, mayor seguridad en la transmisión de la información y más fiabilidad, parámetros para los cuales las redes IP tradicionales presentan grandes deficiencias. Es por ello que para las aplicaciones futuras que se hacen necesarias implementar en la Red de Datos de la Universidad del Cauca tales como vídeo remoto, conferencias, vídeo bajo demanda (VoD) o sistemas colaborativos (teletrabajo, telemedicina, etc.), la red de datos basada en IP no operan adecuadamente.

Generalizando, los procesos que estimulan la evolución del TCP/IP y de la arquitectura de Internet se pueden clasificar en las siguientes categorías:

- **Nuevas tecnologías de comunicación.** Los investigadores e ingenieros que trabajan en el mejoramiento de los protocolos TCP/IP mantienen un agudo interés por las nuevas tecnologías y por el uso más eficiente de la gama de protocolos asociados a Internet
- **Nuevas aplicaciones.** Estas constituyen una de las fronteras de investigación y desarrollo de Internet más interesantes y por lo general crean una demanda de infraestructura o servicios que los protocolos actuales no pueden soportar; p.e. el



interés creciente en servicios interactivos y multimedia ha creado una demanda de protocolos que puedan transferir imágenes y sonidos eficientemente. De la misma forma, el interés en la comunicación en tiempo real de audio y video ha creado la demanda de recursos que puedan garantizar la entrega de la información con retardo fijos, así como protocolos que puedan sincronizar audio y video con los flujos de datos.

▪ **Incrementos en el tráfico.** La red global de Internet ha tenido varios años de crecimiento exponencial. Sorpresivamente la carga de tráfico en Internet ha crecido más rápido que el número de redes; este incremento en el tráfico puede atribuirse a varias causas:

- ❖ La población de Internet esta cambiando su composición respecto al público en general, dejando de estar formada únicamente por académicos e investigadores. En consecuencia los usuarios ahora utilizan Internet para actividades comerciales, de seguridad, de supervisión, de entretenimiento, entre otras.
- ❖ Las nuevas aplicaciones que transfieren imágenes y video en tiempo real generan más tráfico que las aplicaciones que transfieren datos.
- ❖ Las herramientas de búsqueda automatizada generan una cantidad sustancial de tráfico, lo que satura la red con tráfico redundante.

A través de Engineering Task Force, el grupo de trabajo Internet Architecture Board se mantiene activo y realiza esfuerzos que hacen que la tecnología evolucione y mejore. Los procesos que conducen al cambio se manifiestan como un incremento en el tamaño y en la carga que obliga a mejorar los recursos para mantener el servicio, así como aplicaciones nuevas que demandan más de la tecnología interna y como nuevas tecnologías que hacen posible proporcionar nuevos servicios.

1.1. PANORAMA ACTUAL DE LA RED

Con el panorama actual de las telecomunicaciones, todas las infraestructuras de red tienden a migrar hacia una red que permita la provisión de todo tipo de servicio. La arquitectura de red basada en la conmutación de paquete, empleando el protocolo IP es la opción más idónea, puesto que aporta una serie de ventajas de gran importancia, tales como conectividad, madurez, flexibilidad, integración, escalabilidad, entre otros; pero a su vez presenta algunos inconvenientes como se verá a continuación.

1.1.1. Tratamiento de los servicios en IP

Como se sabe, en las redes IP la información se pone en paquetes y se coloca en una cola de envío junto con otros paquetes procedentes de distintas fuentes para que, en



último término, éstos lleguen a sus destinos. Dicha cola despacha los paquetes según el orden de llegada de los mismos, o sea que el tratamiento a los paquetes de voz y datos no es diferenciado. En caso de producirse congestión, los paquetes que se encuentran al principio de la cola serán enviados en primer lugar, sin importar el tipo de servicio soportado o los recursos consumidos para su envío. Por ello, la red IP no puede soportar voz y aplicaciones en tiempo real, dado que estos servicios deben cumplir con requerimientos estrictos de ancho de banda, retardo y jitter que no son tolerados por los esquemas inicialmente definidos en las redes IP. Por otro lado TCP/IP sólo definió la comunicación de datos (p.e. FTP, SMTP, TELNET, etc.), en donde el fenómeno de la congestión, fallas en el trayecto, pérdidas de paquetes, etc. eran manejados con el servicio de Mejor Esfuerzo (Best Effort) y la utilización de técnicas básicas de control de flujo (reenvió de paquetes y corrección de errores) eran suficientes para ofrecer estos servicios.

Desde sus orígenes, las redes IP han centrado su funcionamiento en mecanismos del tipo Best-Effort (Mejor Esfuerzo), de manera que todos los paquetes reciben el mismo tratamiento y la red simplemente se limita a ofrecer el servicio según sus capacidades para que los paquetes alcancen su destino final, sin llegar a adquirir compromisos de calidad de ningún tipo. De esta manera cuando se produce congestión de un enlace, el servicio se degrada en términos de throughput, retardo y/o jitter. Esta situación, si bien puede ser sostenible para aplicaciones no sensibles a retardos, como el correo electrónico o la transferencia de archivos, no lo es en ningún caso para aplicaciones basadas en el intercambio de flujos en tiempo real.

La filosofía best-effort debido a su gran sencillez es pieza clave a la hora de construir redes IP; sin embargo, como se ve, este modelo no es sostenible en las redes actuales. Dado que frente a los requisitos de calidad para las aplicaciones, los servicios en tiempo real no pueden convivir con el tráfico perteneciente a los servicios de naturaleza diferente ya que necesitan recursos y requisitos muy distintos. Tradicionalmente, la única manera de proveer un determinado nivel de calidad para estos servicios, se basaba por el sobredimensionado de la red incrementando el ancho de banda y esto se lograba sólo con el aumento en la capacidad y la cantidad de equipos para así evitar cualquier posible situación de congestión. Esta opción financieramente no es viable y técnicamente no es escalable, por lo tanto se requieren nuevos mecanismos que permitan ofrecer servicios con varios niveles de calidad si recurrir al sobredimensionamiento. Es por ello que la diferenciación de servicios puede convertirse en un beneficio para la red, puesto que da la posibilidad de tratar el tráfico de manera diferenciada y le permita a los administradores de la red ofrecer un mismo servicio con calidades diferentes, consecuentemente con precios diferentes y enfocados a segmentos de clientes distintos.

En este panorama para ofrecer servicios en tiempo real a través de redes IP, es necesario definir aspectos relativos a la Calidad de Servicio (QoS - Quality of Service) para poder



implementar masivamente diversos tipos de aplicaciones. El enfoque adoptado en el presente trabajo de grado expone los motivos estructurales y técnicos que explican por qué es difícil garantizar una calidad de servicio y describe las distintas técnicas a implementar en la red LAN/WAN para que se pueda ofrecer clases de servicio en un entorno controlado extremo a extremo (e2e) nacional entre redes de campus universitarias o corporativas.

1.1.2. Congestión en redes IP

Las redes IP brindan un trato aleatorio a la información y ofrecen la misma prioridad a todos los paquetes. En caso de congestión, fallas en el trayecto, pérdidas de paquetes o cualquier otro problema asociado con Internet, los paquetes que se encuentran al principio de la cola serán enviados en primer lugar, sin tener en cuenta el tipo de aplicación que se este enviando. Dentro de la gama de problemas que presenta la red IP se considera a continuación la congestión.

El fenómeno de la congestión se define como el estado de un recurso de la red en que el tráfico entrante excede la capacidad de salida de dicho recurso en un intervalo de tiempo; el mecanismo básico para tratar la congestión fue el descarte de paquetes, pero este mecanismo no garantiza un descarte justo según el tipo de aplicación enviada. La congestión puede surgir por dos razones totalmente diferentes:

- Un equipo de alta velocidad es capaz de generar tráfico de forma más rápida de lo que una red lo puede transferir. Cuando los paquetes requieren atravesar una red de área amplia (WAN) generalmente esta es más lenta (por el tráfico que maneja) aunque el origen/destino este conectado a una red LAN de alta velocidad; la congestión ocurriría en el enrutador que conecta la salida LAN con la entrada hacia la WAN, ya que los paquetes llegan más rápido de lo que se pueden enviar.
- Si muchos enrutadores necesitan enviar paquetes al mismo tiempo a través de un solo enrutador, éste puede congestionar aunque ningún origen por su mismo cause el problema.

1.1.2.1. Mecanismos propios de las redes IP para prevenir la congestión.

Cuando los paquetes llegan demasiado rápido para que un enrutador los procese, éstos se ponen temporalmente en una cola de espera en la memoria del equipo. Si los paquetes son parte de una ráfaga lenta, este procedimiento de memorización temporal soluciona el problema. Si el tráfico continúa, llega un momento en que se le acaba la memoria al enrutador, y debe descartar los demás paquetes que lleguen. La máquina utiliza mensajes ICMP de disminución de tasa de origen, para reportar el congestionamiento a la fuente



original. Un mensaje de disminución de tasa al origen es una solicitud para que la fuente reduzca la velocidad de transmisión de paquetes. Por lo general, los enrutadores congestionados envían un mensaje de disminución de tasa de origen por cada paquete que descartan. Los enrutadores también pueden utilizar técnicas más sofisticadas para el control del congestionamiento; algunos, monitorean el tráfico entrante y reducen las fuentes que tienen las velocidades más altas de envío de paquetes. Otros, intentan evitar los congestionamientos al enviar solicitudes de disminución cuando sus colas de espera crecen, pero antes de que se saturen.

No existe ningún mensaje ICMP para revertir el efecto de una disminución de tasa al origen. En vez de eso, el enrutador recibe mensajes de disminución para que un destino D, reduzca la velocidad de envío hacia D, hasta que deja de recibir los mensajes de disminución de tasa al origen; luego, aumentan de manera gradual la velocidad en tanto no reciba más solicitudes de disminución de tasa al origen; pero si la congestión continua este método de control sólo logra saturar más la red.

1.1.2.2. Medidas tomadas por los administradores de red para disminuir la congestión.

Controlar la congestión, es el elemento clave para garantizar la calidad de servicio en tiempo real en las redes IP; desde un punto de vista tecnológico, se han consagrado grandes esfuerzos a abordar los problemas de congestión, aunque éstos sólo podrán resolverse de forma generalizada mediante una gestión global de la demanda.

Para solucionar el problema de la congestión, a medida que el volumen de tráfico en Internet se incrementaba, los Proveedores de Servicios (SP, Service Providers) y los administradores de las redes de LAN, se enfocaron en agregar únicamente ancho de banda para reducirla. Esta opción por su naturaleza es costosa y no brinda garantías suficientes para disminuir el problema frente al cambiante flujo de tráfico, por ello los ISP y administradores de la red además de crecer su capacidad en ancho de banda han enfocado su interés en desarrollar mecanismos de gestión e implementación de componentes de clasificación del tráfico para poder responder a esta problemática.

Las razones principales para esta nueva tendencia de los administradores de red y los SP son:

- Con el volumen de tráfico siempre creciente, los SP y administradores de red comprobaron que es difícil solventar la congestión sólo con incrementar el ancho de banda. Los cambios en la distribución de tráfico y fallas en nodos o enlaces, pueden resultar en patrones de congestión impredecibles y un sobre aprovisionamiento significativo en toda una red, aparte de no resolver completamente el problema, genera costos tan elevados que hacen inviable esta solución.



- La crisis económica en la industria de las telecomunicaciones ha causado que las compañías reduzcan las inversiones de capital que requerían para agregar ancho de banda y han impulsado para que los SP se enfoquen en obtener un mejor desempeño de su infraestructura actual.
- Las telecomunicaciones están complementando el modelo de negocios de proveer sólo transporte, con un nuevo modelo de negocios para proveer servicios de valor agregado e implementar modelos de QoS es una opción muy atractiva.

1.1.3. Calidad de los servicios enviados a través de una red IP

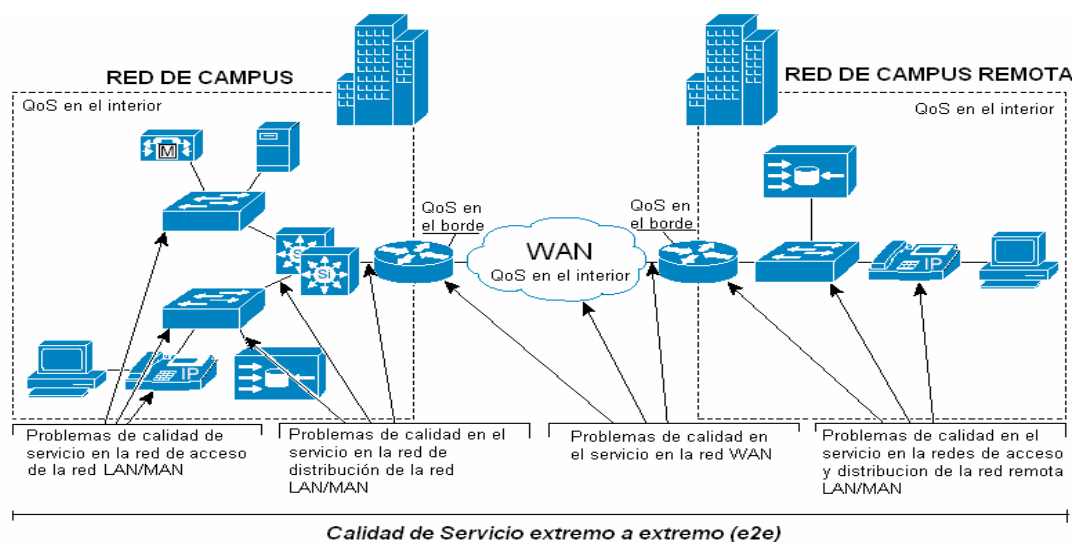


Figura.1-1. Problemas de calidad en la red

Como se observa en la Figura.1-1, los problemas que afectan la calidad surgen en los puntos de congestión de las redes del ISP, tanto en el interior como en las fronteras; sin embargo, estos problemas también pueden plantearse en las conexiones de las redes LAN de Internet. Existen varios motivos que pueden provocar cuellos de botella en una red, entre los cuales cabe destacar: saturación de la capacidad del enlace; aumento en la tasa de retransmisión; disminución de la disponibilidad de recursos empleados; disminución en la tasa de procesamiento y disminución de la capacidad de la memoria intermedia.

Los principales puntos de congestión en toda la red se encuentran en los sitios de concentración de la misma, como son:

- Los cuellos de botella que se produce en la parte de la red de acceso LAN,



- Los cuellos de botella que se producen en las LAN y los ISP de usuario final, así como en las WAN y en los respectivos puntos de interconexión.

De forma más general puede decirse que, varios factores frenan actualmente la conservación de los diversos parámetros definidos dentro de una red LAN hacia las otras plataformas LAN, WAM o MAN. Estos factores pueden agruparse en varias categorías, las cuales se solapan unas con otras:

- La gestión de la congestión existente en las redes IP todavía no está plenamente perfeccionada y unificada, a menudo, una red sólo puede ofrecer ciertos niveles de calidad dentro de su infraestructura y fuera de ella resulta inadecuada mantener estas prestaciones, pero para algunos tipos de servicio (sobre todo para los de tiempo real).
- Servicios con calidad superior o la oferta de varias categorías de servicios de distinta calidad no pueden mantenerse entre redes de diferentes ISP por motivos técnicos, como la incompatibilidad del soporte lógico o incluso del soporte físico (el soporte lógico/físico del ISP puede no admitir las características de calidad proporcionadas por otro ISP) y porque no existen SLA interdominios que permitan unificar criterios y definir un esquema global de QoS.
- La ausencia de sistemas de información contable capaces de proporcionar la medición y facturación necesarias entre redes, p.e. los que se requerirían para garantizar varios niveles de calidad de servicio entre los cuales los usuarios podrían elegir según el tipo de servicio de comunicaciones que hubieran contratado.
- La inexistencia de una interfaz con los usuarios extremos que permita elegir entre distintas clases de servicio de un modo que aporte valor a sus usuarios.

El problema ahora radica no sólo en definir parámetros para el tratamiento especializado de algunos servicios sobre una red LAN cualquiera, sino que es necesario implementar un patrón macro que sea capaz de mantener estos parámetros a lo largo de la trayectoria de los paquetes sobre otras infraestructuras. El tráfico cursado entre redes LAN presenta pocos inconvenientes en este aspecto, porque al tratarse de redes que trabajan en el nivel dos (modelo OSI) estas prestaciones se pueden mantener con unos ajustes mínimos entre los administradores de red. El problema principal radica con el tráfico cursado hacia las redes de los SP, ya que este tráfico se convierte en el denominado tráfico "fuera de red" el cual plantea una serie de problemas. Los principales problemas en cuanto a la calidad obtenida en los servicios transportados a través de las redes WAN, se pueden resumir del siguiente modo:

- Cuando las redes de interconexión utilizan equipos de distintos fabricantes y esos equipos suelen inferir ciertos problemas que inciden en la calidad final de los servicios.



Así, p.e. se pierden estructuras del diseño de redes que mejoran la calidad, y no se utilizan sistemas de gestión normalizados.

- El tratamiento de los paquetes requieren que las conexiones de red proporcionen valores limitados en lo que se refiere a la tasa de pérdida, la tasa de inserción, el retardo y la variación del retardo a fin de satisfacer determinados parámetros de calidad extremo a extremo. El no garantizar estos parámetros implica necesariamente que el servicio para el usuario final no posee la calidad deseada.
- Cada uno de los Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA) ofrecidos por los proveedores de tránsito es específico. Las propiedades estadísticas de las redes ISP son distintas y, además, no son fácilmente comparables, ya que existen diferencias en cuanto al modo de recopilar los datos.
- Algunas veces, las especificaciones del servicio varían de una red a otra, por lo que la calidad exigida por un usuario no se logra mantener cuando el tráfico cruza las fronteras.

De lo anterior se desprende que la degradación de la calidad en los servicios es muy frecuente en los extremos. Por otra parte, existen motivos para sospechar que las posibles soluciones a estos problemas de calidad pueden verse aplazadas debido a un problema de coordinación. Todas las redes que manejan los paquetes enviados entre enrutadores deben ser capaces de conservar los parámetros de calidad que proporciona la red de origen para que dichos parámetros puedan ser actualizados entre los enrutadores que establecen la comunicación. En otras palabras, si una de las redes del ISP encargadas de proporcionar la comunicación confiere a su parte de la red una calidad inferior a la ofrecida por otras redes, la calidad del flujo se verá reducida en consecuencia.

1.1.4. Motivación al uso de técnicas de Calidad

Después de haber explicado las problemáticas presentes tanto en las redes WAN y LAN se procede a realizar un estudio del estado del arte para implementar calidad en la redes IP. Con una serie de mejoras, TCP/IP es líder en el ámbito del transporte de todo tipo de información, no sólo porque ofrece comunicaciones flexibles, sino también porque brinda soluciones que apuntan a la convergencia; diferenciando servicios de voz, datos y vídeo, a través de Redes Privadas Virtuales (VPN). Algunas de estas aplicaciones requieren mayor ancho de banda, mientras que otras requieren de una entrega garantizada de los paquetes de información en tiempo y forma (p.e. Voz sobre IP).

Aplicando diferentes técnicas de calidad, se logra diferenciar en una misma red diversas aplicaciones con distintos requerimientos, evitando que se afecten mutuamente los



servicios enviados a través de IP. La diferenciación del tráfico en clases de servicio se logra aplicando mecanismos de calidad, y con ello se añaden una capacidad extra a la red, de tal manera que le permite distinguir aplicaciones en tiempo real de aquellas que pueden tolerar en su funcionamiento un cierto retardo, fluctuación o pérdidas de paquetes.

Es de anotar que las actuales redes utilizan diferentes tecnologías de transporte (Frame Relay, X.25, SDH, ATM, IP, etc.), y para implementar calidad de servicio se debe tener en cuenta la interacción de todas estas tecnologías, ya que son ellas las que finalmente determinaran el nivel de calidad alcanzado. Se necesitan mecanismos globales, que gestionen esta calidad y negocien individualmente con las subredes la calidad de servicios entregada por cada una de ellas. Cada subred tiene que proporcionar mecanismos locales de calidad como puede ser ATM o 802.1p para las redes Ethernet y la calidad extremo a extremo será la derivación de las calidades de servicio negociadas en cada una de las subredes; y la gestión en cada subred vendrá determinada por el modelo de servicio, que entre otros aspectos, podrá ser soportado por servicios integrados o diferenciados.

Existen dos estrategias para ofrecer calidad de servicio. Estas estrategias pueden aplicarse tanto a flujos de tráfico individuales como a flujos agregados y son:

- **Reserva de Recursos:** Los recursos de la red se reparten en función de las peticiones de calidad de servicio realizadas por las aplicaciones y de la política de gestión de ancho de banda.
- **Priorización:** El tráfico es clasificado y los recursos de la red se reparten en función de la política de gestión de ancho de banda. Para ofrecer calidad, los enrutadores de la red tratan el tráfico preferencialmente en función de su clase.

La calidad del servicio ha sido estudiada desde muchas perspectivas y es una de las áreas mas activas de investigación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU- International Telecommunications Union). Los esfuerzos de la ITU se han enfocado en la realización de pruebas subjetivas, caracterización y la definición de modelos, que han dado lugar a recomendaciones, definiciones de esquemas de conmutación y transmisión necesarios para la optimización del tratamiento de las señales. El esquema actual de procesamiento IP no diferencia los servicios transportados, sino que los maneja de acuerdo a políticas de encolamiento establecidas en cada elemento de red; pero en el entorno actual de las telecomunicaciones y de los requerimientos de los clientes, el tráfico que cursa en las redes, requiere de servicios diferenciados sobre infraestructuras heterogéneas con niveles aceptables de calidad, es decir, que soporte servicios con Calidad de Servicio (QoS - Quality of Service).



1.2. CALIDAD Y SERVICIO

La definición dada por el diccionario de la lengua de la Real Academia Española, define que **Calidad** es el “*propiedad o conjunto de propiedades inherentes a una cosa, que permiten apreciarla como igual, mejor o peor que las restantes de su especie*”. Por otro lado, define **Servicio** como “*Utilidad o provecho que resulta a uno de lo que otro ejecuta en atención suya. Estar hecho para algo concreto*” [Real Academia Española. Diccionario de Lengua Española. Madrid 1992. 21^{va} Edición].

Estas definiciones enmarcadas en la propiedad de comparación, determinan el grado de calidad ofrecido por un servicio estableciendo un símil con el resto de servicios soportados a este nivel. En el contexto de telecomunicaciones, se tiene que “**Calidad es la totalidad de características de una entidad que afecten su habilidad para satisfacer necesidades implícitas y establecidas**” [ISO 8402, 1994] y el concepto de **Servicio** se relaciona con la capacidad para intercambiar información a través de un medio de telecomunicaciones, proporcionado a un usuario por un proveedor de servicio.

1.2.1. Calidad del Servicio (QoS)

Las definiciones concretas sobre QoS, difieren en significado según el ámbito en el que se este aplicando, así se tiene las siguientes definiciones:

- En **TELECOMUNICACIONES**, QoS se define como “El efecto colectivo del desempeño de un servicio el cual determina el grado de satisfacción del usuario de dicho servicio” [ITU-T Recommendation E.800, "Terms and Definitions Related to the Quality of Telecommunication Services", Agosto de 1993].
- En **TELEMÁTICA**, QoS es la capacidad de un elemento de red (aplicación, servidor, enrutador, conmutador, etc.) de asegurar que su tráfico y los requisitos del servicio previamente establecidos puedan ser satisfechos. Habilitar QoS en este ámbito, requiere la cooperación de todas las capas y elementos de la red. Así, QoS puntualiza un conjunto de mecanismos que permiten a los administradores de red manejar los efectos de la congestión del tráfico usando de forma óptima los diferentes recursos de la red, en lugar de aumentar la capacidad de la misma.

Desde este enfoque conceptual, la definición pasiva describe la calidad experimentada por el tráfico que transita por una red, mientras que la definición activa se refiere a los mecanismos que controlan la calidad experimentada por el tráfico que transita una red. La definición activa generalizando todos los conceptos antes mencionados define QoS en una red como: “*La capacidad de controlar los mecanismos de manipulación de tráfico en la red, tal que se satisfagan las necesidades de servicio de ciertas aplicaciones y*



usuarios, sujetas a las políticas de calidad definidas para dicha red [Networking Quality of Service and windows operating System. Yoram Bernet. 2001].

Los mecanismos de QoS (elementos de manipulación de tráfico en la red) tienen como función: gestionar una serie de parámetros y de funciones de red, dentro de los cuales se encuentran la identificación de la clase de servicio, la derivación de la tabla de enrutamiento, la admisión para conexión, la asignación del ancho de banda, la protección del ancho de banda, la reservación del ancho de banda, el enrutamiento por prioridades y las técnicas de puesta en cola y servicio de colas (queueing). Las condiciones que deben ser satisfechas con el propósito de proveer QoS a una aplicación son: el ancho de banda debe estar garantizado para la aplicación bajo distintas circunstancias (incluyendo congestión y fallas); y a medida que el flujo de datos de la aplicación atraviesa la red debe recibir el tratamiento apropiado, p.e. basado en clases, que asegure un nivel de retardo, de jitter y de descarte de paquetes. Se requiere un manejo apropiado de las técnicas de puesta en cola y de servicio de cola (explicado en el capítulo II), para garantizar QoS en la red.

Dentro de los términos asociados a la calidad del servicio, se tiene que QoS es el único que se refiere completamente a la calidad del servicio, generalizando todas las técnicas que se encuentran entorno a ella; mientras que Clase de Servicio (CoS – Class of Service) y Tipo de Servicio (ToS – Type of Service), son los parámetros y las técnicas utilizadas para su definición.

1.2.2. Clases de Servicio (CoS)

Tabla.1 - 1 Esquema de clasificación de servicios

CLASE DE SERVICIO	SERVICIOS	
Audio Digital	Audio bajo demanda Audio calidad estudio Audio sub-estándar	Difusión de audio Telefonía Otros
Servicios básico de datos	Correo Difusión de datos Mensajería P2P	Navegación Transferencia de archivos Otros
Servicio de valor añadido	E-Administración E-Comercio E-Juegos	E-Negocios Otros
Servicio portador de datos	ADSL Cable módem Dial-up	GPRS Otros
video Digital	Video de alta definición Video estándar Video sub-estándar Videoconferencia	Videotelefonía VoD alta definición VoD estándar Otros



Según IETF en el RFC 2386 [“A Framework for QoS-based Routing in the Internet”, Agosto 1998], CoS son “Las definiciones de las semánticas y los parámetros de un tipo específico de QoS”. CoS, por tanto son el conjunto de parámetros de la calidad de transmisión que delimitan las características de un flujo de información. Este término implica, a su vez, dos procedimientos, en primer lugar la priorización de los distintos tipos de tráfico (vídeo, voz y datos) y, en segundo lugar, la definición de un reducido número de clases, en las que se enmarquen las prioridades definidas.

Este conjunto debe ser lo suficientemente amplio como para abarcar, de un modo preciso, a la totalidad de las conexiones que puedan requerir un servicio del sistema, y a su vez que este bien restringido como para simplificar los mecanismos de gestión de recursos. Por consiguiente, una aplicación deberá ser analizada por el sistema de envío, quien comparará cada uno de sus flujos activos, y definirá la CoS mas adecuada. Este análisis debe permitir decidir cuál de las CoS definidas en el sistema resulta más adecuada a las necesidades de calidad de envío y que se ajuste mejor al patrón de tráfico de cada conexión.

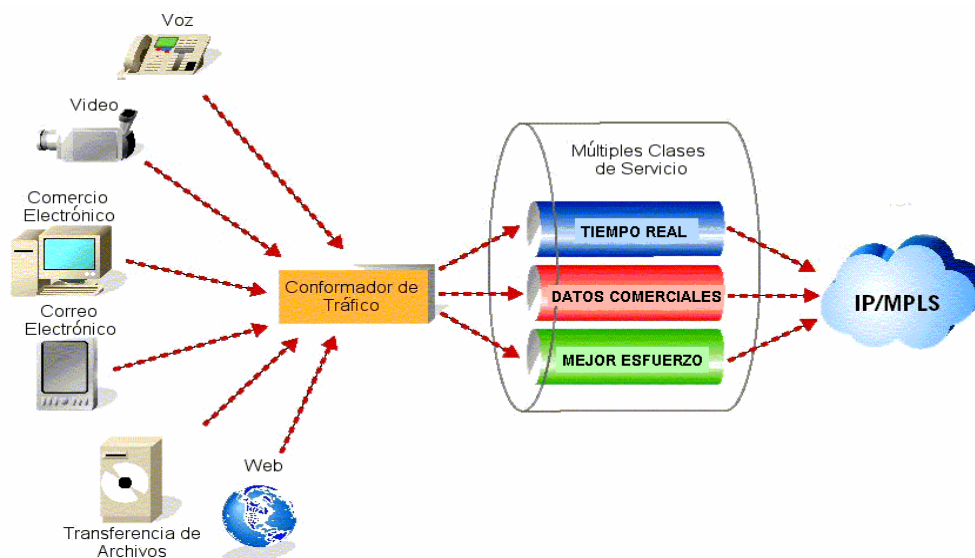


Figura.1-2. Clase de Servicio

En la **Figura.1-2**, se observa como el sistema de comunicaciones ve las conexiones de todas las aplicaciones como un conjunto acotado y determinado de CoS, cuyas características son conocidas a priori, lo que permite una planificación eficiente de la gestión del tráfico.



1.2.3. Tipo de Servicio (ToS)

Para ofrecer calidad de los servicio en redes IP se utilizó un campo de la cabecera IPv4 llamado ToS como se observa en la Figura 1-3. La función de este byte es indicar la importancia del datagrama e informa además los requisitos del mismo, frente a parámetros de calidad de servicio como retardo, flujo de salida y fiabilidad.

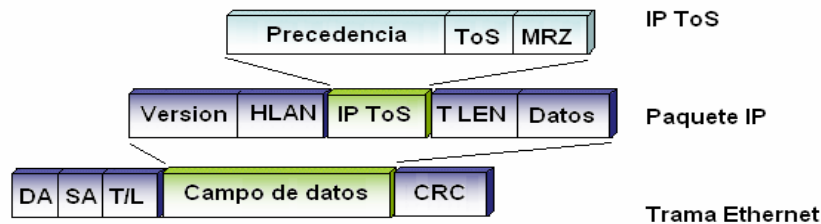


Figura.1-3. Formato de ToS

D: Delay (Retardo). Si su valor está en 1 significa que es tráfico sin retardo, si esta con valor 0 es de tráfico normal.

T: Throughput (Rendimiento). Si el valor es 1 es tráfico de rendimiento es alto, 0 cuando el tráfico es normal.

R: Reliability (Fiabilidad). Si su valor es 1 el tráfico requiere de alta fiabilidad, 0 si es normal.

C: Cost (Coste). Indica los requisitos de costo de un datagrama.

X. Reservados para uso futuro.

El ToS es un parámetro de la cabecera IP, de 8 bits, que establece la prioridad del paquete (3 bits), la solicitud de retardos cortos (Delay-1 bit), la solicitud de alto rendimiento (Throughput-1 bit) y la solicitud de mínima probabilidad de pérdida (Reliability-1 bit). El ToS reserva ancho de banda con antelación y después se le asigna al tráfico que necesite preferencia, como el de voz con un CoS con alta prioridad, de modo que este tráfico utilice el ancho de banda reservado. ToS está incluido como uno de los campos en la arquitectura de QoS DiffServ, donde también es conocido como punto de código DiffServ (DSCP - DiffServ Codepoint).

1.3. REQUERIMIENTOS DE QoS

El entorno en que se enmarca la QoS, tiene cuatro variantes relacionadas: La QoS que el usuario desea, la que el proveedor ofrece, la que el proveedor consigue realmente y la que el usuario percibe. En cualquiera de ellas existen algunos parámetros que están condicionados a las características técnicas que la red soporta, y por eso el primer Informe técnico de la ETSI (European Telecommunications Standards Institute) el ETR-003 [Network Aspects (NA); General aspects of Quality of Service (QoS) and Network Performance (NP)] publicado en 1994, crea el marco de la metodología para especificar los parámetros técnicos de la red, a partir de los requisitos de los usuarios.



Es posible realizar una clasificación de QoS bajo distintas especificaciones, diferenciarla según el tipo de tráfico, dónde se aplica, según la reserva de recursos de la red tal y como se indica a continuación.

1.3.1. QoS ofrecido por el proveedor de servicios

La QoS puede ser asignada, teniendo en cuenta los recursos de la red y la reserva del sistema, en este caso se puede tener la siguiente clasificación de QoS:

- **QoS GARANTIZADA:** Es aquella en la que se produce una reserva absoluta de los recursos de red, para un tráfico determinado. La reserva de recursos se realiza de forma fija sin tener en cuenta los flujos de tráfico que transcurren en ella.
- **QoS SERVICIOS DIFERENCIADOS:** Para este tipo de QoS, se realiza una diferenciación de tráfico, siendo tratados algunos mejor que el resto (reenvío de paquetes más rápido, más ancho de banda promedio, menos tasa de error promedio).
- **QoS No GARANTIZADA:** El tráfico es transmitido por la red a expensas de lo que en ella pueda sucederle. Es el tipo de QoS correspondiente a los Servicios Mejor Esfuerzo.

1.3.2. QoS obtenido en la red del proveedor de servicios

Teniendo en cuenta que la petición de QoS puede ser realizada por el usuario final o por los conmutadores de la red, se tiene la siguiente clasificación:

- **QoS EXTREMO A EXTREMO:** Conocida como QoS absoluta, con este tipo de QoS se simplifican las operaciones en los enrutadores y conmutadores, puesto que reduce la marcación de los paquetes. Las aplicaciones pueden seleccionar dinámicamente el nivel de QoS almacenándose temporalmente en los directorios de red o en los conmutadores, la clase de servicio según el tráfico transportado.
- **QoS BORDE A BORDE:** La QoS borde a borde o QoS relativa, es la aplicación de las políticas de calidad de servicio entre dos puntos cualesquiera de la red, p.e. en los enrutadores. Esto tiene varias ventajas en primer lugar: no requiere que los administradores de red manipulen ninguno de los extremos. Otra ventaja es que son menos los dispositivos que tienen que ser manejados para la obtención de la QoS.

Cada tipo de aplicación, requiere cierto nivel de QoS. La QoS en Internet, presenta los más bajos niveles de calidad y los paquetes son tratados por el esquema Best Effort. La



QoS Relativa presenta niveles medios de prioridad. La QoS Absoluta es la calidad garantiza extremo a extremo y presenta QoS garantizada.

1.4. PARÁMETROS PARA ESTABLECER QoS EN UNA RED

Para definir QoS en una red, es necesario describir cada uno de los parámetros que se deben tener en cuenta para poder garantizar niveles de calidad óptimos en los servicios transportados, sobre una infraestructura de red cualquiera. Estos parámetros tienen una relación directa con la percepción que el usuario final deba tener, en la calidad brindada por la red del proveedor. Como usuario final, se entiende cualquier nivel superior del sistema de comunicaciones que tenga unas necesidades de calidad determinadas, p.e. para aplicaciones de voz, se deben establecer relaciones entre los parámetros: retardo máximo de paquetes, diferencia máxima entre retardo de paquetes, tasa máxima de paquetes perdidos, tasa máxima de errores en los bits de los paquetes, etc., y la percepción subjetiva de inteligibilidad de la voz. El tipo de aplicación o de usuario al que se le deba dar un servicio, condiciona los valores de los parámetros que marcaran la definición de cada calidad de servicio. Los parámetros que se tendrán en cuenta son:

1.4.1. Retardo medio de paquetes

El retardo medio, indica la variación temporal en la llegada de los flujos de datos a su destino. Es una característica que se hace notable en aplicaciones como la videoconferencia, dado que a medida que este aumenta, la aplicación presentará cortes muy evidentes para el usuario final. Dentro de las políticas de QoS definidas para la red, se deberán reducir al mínimo este parámetro. Otros conceptos asociados con esta variación son:

- **El Retardo:** Tiempo entre la iniciación de una transferencia del emisor y la primera respuesta recibida por este. Asimismo, el tiempo requerido para mover un paquete desde el origen hasta el destino en una ruta dada.
- **El Retardo de Cola:** Cantidad de tiempo que los datos deben esperar antes de poder ser transmitidos a un circuito físico multiplexado estadísticamente.

1.4.2. Latencia

También denominada demora, consiste en el retardo que experimenta una señal en su viaje por los medios físicos. Para trasladarse a una determinada distancia, un bit requiere



una cantidad de tiempo, cantidad que se puede ver aumentada cuando el bit atraviesa los dispositivos de red (algunos los dispositivos electrónicos provocan un mayor retardo). La solución para el problema de la latencia es el uso cuidadoso de los dispositivos de red y estrategias de codificación.

1.4.3. Jitter

El Jitter es la variación en el retardo, como se observa en la **Figura.1-4**. Si todos los paquetes experimentarían la misma cantidad de retardo en la red, los espacios de tiempo, o la diferencia entre paquetes D_1 sería igual que D_3 , y D_2 sería igual a D_4 . Pero se observa que X_1 y X_2 tienen menos retardo en el emisor; esto se debe a que X_2 experimenta menos retardo que X_1 , cuando transita por la red. De manera similar X_3 presenta mayor retardo en el envío.

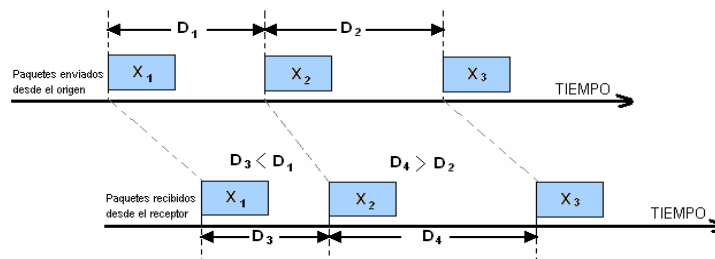


Figura.1-4. Jitter

El jitter es una característica inherente de los sistemas de redes de paquetes, ya que no hay transmisión sincronizada extremo a extremo como en las redes de circuitos conmutados. El jitter ocurre en cualquier parte de la red, donde se produce el *buffering* de interfaz, tanto en redes privadas como públicas.

1.4.4. Ancho de banda (BA)

El Ancho de Banda es la medida de capacidad de comunicación o velocidad de envío de datos de un circuito o canal; expresada generalmente en Kilobits por segundo (kbps) o en Megabits por segundo (Mbps). Indica la capacidad máxima teórica de una conexión; pero esta capacidad teórica se ve disminuida por factores negativos tales como el retardo de transmisión, que puede causar un deterioro en la calidad. Aumentar el ancho de banda implica transmitir más datos, pero también tiene un incremento en los recursos de la red y, en ocasiones, resulta imposible su ampliación sin cambiar de tecnología de red.



1.5. TECNICAS QUE OFRECEN QoS

A medida que la comunidad de proveedores de servicio se comenzó a dar cuenta de la necesidad de aplicar mecanismos de QoS en sus redes, emergieron varios enfoques. El primero de ellos IntServ con el protocolo de señalización RSVP (*Resource Reservation Protocol*), constituyó la primera arquitectura genuina de QoS. Sin embargo, luego de observar la escalabilidad y los problemas operacionales de IntServ con RSVP, la IETF definió la arquitectura DiffServ, la cual en su forma básica no requiere un protocolo de señalización. Posteriormente fueron introducidas la TE y MPLS. A continuación se revisaran las técnicas IntServ y DiffServ, a fin de proveer una base para el estudio de la QoS en MPLS.

1.5.1. Servicios Integrados (IntServ)

IntServ hace referencia a un conjunto de estándares en evolución diseñados para proporcionar una funcionalidad de transporte de QoS a través de redes basadas en IP. IntServ apareció con el trabajo del IETF a mediados de los años noventa y está definido en la RFC 1633. El diseño básico tratado por IntServ se ocupa de la distribución del ancho de banda disponible durante instantes de congestión. Bajo esta arquitectura consta de lo siguiente:

- Un control de admisión ejecutado por un protocolo de reserva para determinar si se dispone de recursos para ofrecer la QoS solicitada.
- Un algoritmo de enrutamiento, que mantiene una base de datos que proporciona la información del salto siguiente para cada dirección de destino.
- Un algoritmo de puesta en cola que controla el flujo de tráfico a través de un enrutador.
- Una norma de descarte que proporciona un mecanismo uniforme que indica las condiciones bajo las cuales se descartan los paquetes.

La arquitectura IntServ satisface las dos condiciones necesarias para proveer QoS ya que provee los recursos apropiados de ancho de banda y puesta en cola para cada flujo de aplicación ("microflujo"). Sin embargo las implementaciones de IntServ con RSVP requieren la señalización y el estado por microflujo en cada salto. Esto añade una complejidad significativa a la operación de la red y fue considerado no escalable. De allí, el modelo IntServ fue implementado solo en un número limitado de redes y la IETF dirigió sus esfuerzos al desarrollo de DiffServ como un enfoque alternativo de QoS con una complejidad mínima.



1.5.2. Servicios Diferenciados (DiffServ)

DiffServ representa un conjunto de tecnologías que permiten a los proveedores de servicios de red ofrecer categorías de QoS a los flujos de tráfico de diferentes clientes. La utilización de los servicios diferenciados exige el establecimiento de un acuerdo de nivel de servicio (SLA Service Level Agreement). El SLA se establece entre el proveedor y el cliente antes de la utilización de los servicios diferenciados. El SLA puede especificar la forma en que se manejan los paquetes en función de una o más métricas. Dichas métricas pueden ser el flujo de salida obtenido que se espera, la probabilidad de descarte, el retardo o latencia y la variación de la secuencia de paquetes recibidos cuando se presenta un flujo a la red (jitter).

Un operador de red utiliza el SLA para definir cómo se manejan los paquetes, en base a la composición del byte DiffServ. Aquí, el manejo es un concepto amplio que se refiere al servicio de reenvío que recibirán los clientes para una clase o conjunto de clases de paquete concreto. Una vez se establece el SLA, el cliente envía paquetes con los valores del bit DiffServ adecuados para indicar el servicio deseado. El proveedor de servicios se convierte entonces en el responsable de asegurar que los enrutadores se configuren con las directivas de reenvío adecuadas para proporcionar la QoS especificada en el SLA para cada clase de paquete.

En vez de adoptar el enfoque tradicional de QoS en la que los enrutadores reservan ancho de banda para un flujo de tráfico en la ruta desde el origen hasta el destino, Diffserv simplemente asigna un valor a un byte de la cabecera IP que permite a todos los enrutadores de ruta reenviar el tráfico de acuerdo al valor del byte. Esta acción elimina la necesidad de transportar información de señalización aparte entre los enrutadores, por lo que DiffServ evita el deterioro elevado asociada a RSVP que hace que resulte inviable para utilizarlo en Internet.

Otra ventaja asociada a Diffserv es que se pueden agregar muchos flujos de tráfico en una Agregación de comportamiento (BA, Behavior aggregates). Es decir, todo el tráfico con el mismo valor del byte DiffServ es tratado de la misma manera por cada enrutador compatible con DiffServ, independientemente de su origen, destino o composición del paquete. Es posible que se trate del mismo modo a una conversación de voz y a sus aplicaciones cercanas de tiempo real entre parejas de direcciones diferentes a medida que sus paquetes fluyan por la red. Cada enrutador con DiffServ reenvía los flujos de tráfico de BA en función de un comportamiento por cada salto (PHB, per hop behaviors) simplificando todavía más el flujo de datos, además de minimizar el esfuerzo de procesamiento de los enrutadores.



1.5.3. Conmutación de Etiquetas Multiprotocolo

El funcionamiento de **MPLS** (Multi-Protocol Label Switching) se basa en la definición de caminos a través del núcleo de una red IP para su posterior uso en el envío de paquetes IP. Cuando un paquete entra en la red, un enrutador frontera busca la dirección de destino del paquete y lo marca con una etiqueta que especifica la ruta y, opcionalmente, los atributos de la CoS. La idea de MPLS es utilizar las etiquetas para determinar el siguiente salto del camino, de manera que los enrutadores realicen menos trabajo y puedan actuar como simples conmutadores.

Cuando los paquetes marcados se introducen en la red, cada enrutador utiliza la etiqueta del paquete para seleccionar el destino y, opcionalmente, la CoS del paquete, en lugar de buscar el destino en las tablas de encaminamiento para cada paquete. Cuando el paquete sale del núcleo de la red, el enrutador frontera utiliza la dirección destino del paquete para enviarlo a su destino final. Los paquetes siguientes del mismo flujo son automáticamente etiquetados, de esta forma se gana velocidad.

Una serie de enrutadores de conmutación por etiquetas (*Label Switching Routers*, LSRs) construyen el camino (llamado *Label Switched Path*, **LSP**) que seguirán los paquetes a través del núcleo de la red. Todos los LSRs del núcleo de la red intercambian información de encaminamiento entre sí, mientras que los LSR frontera solo intercambian información de encaminamiento con los enrutadores y con los LSR inmediatamente adyacentes.

En la **Figura.1-5**, se observa las etiquetas que pueden utilizarse para identificar el tráfico. Utilizando técnicas de gestión de tráfico avanzadas para los caminos definidos por los LSR, pueden garantizarse ciertos niveles de servicio en una red IP.

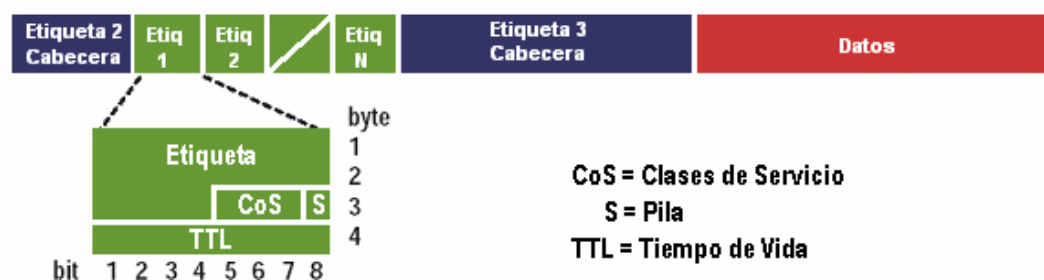


Figura.1-5. Etiqueta MPLS

El aspecto más complejo de MPLS es la distribución y gestión de etiquetas entre los enrutadores MPLS de manera que todos coincidan en el significado de estas; el protocolo **LDP** (*Label Distribution Protocol*) está diseñado específicamente para este propósito.



1.5.4. Combinación de Técnicas de QoS

Las tecnologías de QoS explicadas anteriormente, en la práctica no se van a utilizar de forma excluyente y de hecho están diseñadas para ser utilizadas de forma conjunta con otras tecnologías para dar soporte a la QoS extremo a extremo. La mayoría de las especificaciones de cómo se interrelacionan las diferentes tecnologías de QoS no están todavía estandarizadas, pero se han previsto varias arquitecturas para soportar QoS extremo a extremo.

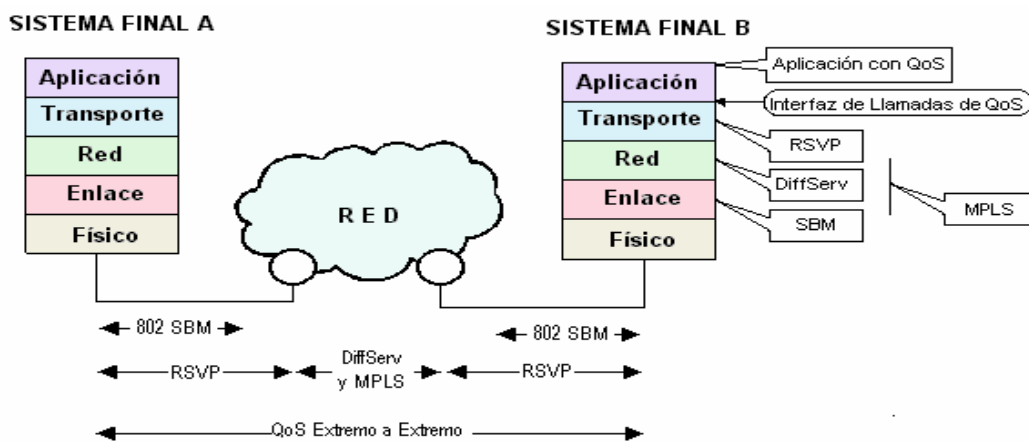


Figura.1-6. Arquitectura de QoS con diferentes tecnologías.

La **Figura.1-6** muestra como pueden interactuar las diferentes tecnologías a nivel de enlace y transporte. Se observa, que para conseguir la calidad de servicio extremo a extremo, hay que realizar una actuación en cada nivel de la torre de protocolos TCP/IP.

1.5.4.1. IntServ con DiffServ

IntServ es más complejo y exigente que *DiffServ*. *IntServ*, puede afectar negativamente si se aplica en los enrutadores internos de la red WAN así que es mejor utilizar en este sector enrutadores *DiffServ*. *IntServ* permite que los usuarios puedan realizar explícitamente peticiones de QoS: los sistemas finales pueden utilizar RSVP para solicitar QoS con gran granularidad. Los enrutadores de acceso pueden trasladar las reservas de RSVP a la CoS de *DiffServ* en el campo DS, o también puede ser el propio emisor quien haga la citada traslación. Los enrutadores de acceso además hacen el conformado del tráfico de los usuarios para asegurar el SLA.

Otra posibilidad es aplicar *IntServ* en la red de acceso y *DiffServ* en el núcleo de la red. En este caso el enrutador que hace la traslación debe estar entre ambas partes. Esto puede aplicarse beneficiosamente cuando la red de acceso pertenece a un proveedor de acceso a Internet y el núcleo de la red a un operador. Esta arquitectura presenta, además,



la ventaja de que los enrutadores de acceso, al no soportar grandes velocidades, puede dedicar más tiempo a hacer las tareas más pesadas que conlleva *IntServ*. En cambio, los enrutadores del núcleo al soportar grandes velocidades deben ser sencillos, por lo que pueden soportar *DiffServ* sin problemas.

1.5.4.2. MPLS con IntServ

Como se describe en el draft “Extensions to RSVP for Traffic Engineering” [Internet draft-swallow-mpls-rsvp-trafeng-00.txt, Agosto, 1998.] existe el propósito de usar un objeto en RSVP para predeterminedir el camino a tomar por parte de las sesiones RSVP con etiquetas. Estas sesiones usan las conexiones establecidas por los enrutadores MPLS, incluso sin este objeto es posible que MPLS asigne etiquetas con arreglo a las especificaciones de RSVP. En cualquier caso, la consecuencia es una simplificación del funcionamiento de *IntServ* en los enrutadores MPLS.

1.5.4.3. MPLS con DiffServ

DiffServ y MPLS resuelven gran parte de los problemas de QoS en las redes IP. DiffServ se apoya del campo Tipo de Servicio (ToS) clasificando los tráficos en diferentes clases en los nodos de ingreso al dominio DiffServ. MPLS realiza en cierta manera una clasificación similar a DiffServ, sólo que éste último los clasifica y agrupa en FEC (Forwarding Equivalence Class) para garantizar QoS. Ambos emplean etiquetas, en DiffServ son conocidas como DiffServ Code Point (DSCP) y etiqueta en MPLS.

La etiqueta MPLS determina la ruta que un paquete tomará, lo cual permite optimizar el enrutamiento dentro de una red. Además es factible aplicar la Ingeniería de Tráfico, la cual garantiza la asignación de circuitos virtuales con ciertas garantías de ancho de banda para igual número de etiquetas que lo requieran. Por otro lado, el valor DSCP determina el comportamiento de los nodos de acuerdo a esquemas de colas (Queuing).

1.6. QoS E INTERNET DE PRÓXIMA GENERACIÓN

Internet está fortaleciendo su infraestructura para soportar una gama de servicios no tolerados inicialmente por IP, p.e. telecomunicaciones de punto a punto, conferencia de punto a multipunto, multidifusión y radiodifusión como la transmisión de flujo continuo de vídeo y televisión; que llevarían a transportar sobre una misma infraestructura de red todas las aplicaciones demandas por los usuarios. Las prestaciones de distintas CoS son uno de los factores fundamentales que se requieren para hacer realidad la Internet de próxima generación. De hecho, Internet de próxima generación se define como una red de redes integrada por un gran número de servicios que compite en distintos mercados a nivel de telefonía, radiodifusión en tiempo real, datos y vídeos interactivos, aparte de los



servicios que suministran habitualmente los SP. Estas prestaciones se enfocan en conservar sobre la infraestructura de red la capacidad inicialmente asignada para los paquetes enviados y proporcionar las características de envío de estos, p.e para los servicios VoIP e interactivos, a fin de proporcionarlos en Internet con una calidad óptima.

Aunque aún no se han desarrollado plenamente muchas de las tecnologías específicas que se examinan en el presente trabajo, ellas ofrecen la posibilidad de que se presten a mediano plazo servicios de tiempo real con gran calidad a través de Internet. Antes de poder pronunciarse sobre la existencia de convergencia, se pasará por un periodo de transición en el que los servicios en tiempo real como la VoIP empezarán a ejercer una presión de competencia entre los proveedores y, será interesante comprobar de qué forma la QoS en ésta Internet de transición será distinta de la que se proporciona actualmente.

Uno de los principales problemas que planteará la transición durante los próximos años tal vez tiene que ver con el control de admisión de servicio, para tratar la calidad de las sesiones en tiempo real. Este control de admisión logrará evitar la sobrecarga de paquetes en la red IP durante los periodos de congestión. En las redes tradicionales, en las que la capacidad se asigna durante la fase de admisión a la conexión, la probabilidad de bloqueo de un servicio queda determinada por probabilidades conocidas, las cuales definen el CoS que recibirán los clientes. Como el embotellamiento de la red se produce sobre todo en la parte de acceso a la misma, es probable que el control de admisión al servicio se aplique esencialmente a esta zona.

En la actualidad, existen distintas posibilidades para prestar QoS a través de redes IP, entre las que se figuran MPLS y *DiffServ*. Con esta última se logra manejar a través del octeto ToS del encabezado IPv4 el reconocimiento de una jerarquía de tráfico, definiendo diversas CoS. Estos mecanismos y arquitecturas necesarias para que la red de Datos de la Universidad del Cauca o cualquier red de campos brinde servicios con QoS, requieren de un tratamiento especial para que se logre llevar estos requerimientos fuera de la red LAN y así ofrecer QoS e2e; dentro de un entorno controlado o previsto entre redes de campus a nivel nacional.

- **QoS red LAN:** Es necesario sobre la red LAN, señalar los diferentes aplicativos empleados en la Universidad del Cauca con el estándar IEEE 802.1p, para asignar diversas prioridades dentro de la red. Como la operación de 802.1p esta limitada al nivel 2, se hace necesario uno o más mecanismos adicionales de QoS para proporcionar QoS en el entorno WAN.
- **QoS red LAN/WAN:** El elemento de frontera entre la red LAN y WAN debe realizar la lectura de los requerimientos de QoS contenidos en la etiqueta de nivel 2 y consignarlos en la etiqueta de nivel 3, para ingresar así el paquete a la red WAN manteniendo los



niveles de QoS definidos por el usuario. DiffServ permite la clasificación de los tráficos en diferentes clases en los nodos de ingreso al dominio DiffServ y con MPLS se especificará y agrupa en FEC (Forwarding Equivalence Class) estos flujos para así mantener la QoS y ofrecer alto rendimiento en el envío del tráfico. MPLS permite superar ciertas deficiencias de los niveles superiores como TCP/IP y a la vez mejora el factor de transmisión debido a que en vez de realizar el envío de paquetes a través de enrutamientos basados en direcciones IP ésto se realiza mediante la conmutación a través de etiquetas.

Al emplear esquemas de Calidad de Servicio con DiffServ y MPLS, es muy importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El control de admisión para conocer el estado de los recursos disponibles para ofrecer la QoS solicitada,
- El algoritmo de enrutamiento, que proporciona la información del salto siguiente,
- El algoritmo de puesta en cola que controla el flujo de tráfico y
- La política de descarte.

El seleccionar erróneamente uno de estos esquemas, podría ser la causa principal de bajo desempeño en las aplicaciones sensibles a retardo.

De acuerdo a lo visto en los apartados anteriores, la solución más adecuada para ofrecer servicios con QoS e2e para la Universidad del Cauca requiere la implementación de una solución DiffServ en la frontera de red LAN/WAN para conservar la QoS requerida por usuarios y que los proveedores de servicio implementen DiffServ en la WAN a través de MPLS para conservar esta calidad desde la red de la Universidad hacia Internet; las razones fundamentales para inclinarse por esta solución son:

- La poca utilización del ancho de banda disponible en la LAN no amerita realizar reserva de recursos desde los dispositivos de usuario para las aplicaciones críticas, sólo es necesario darles cierta prioridad. Hay que aclarar que la congestión que sufre la red en determinados momentos es causada por la conexión excesiva de dispositivos de red (colocados en cascada) que aumentan el retardo y por lo tanto afectan los parámetros de QoS.
- La solución DiffServ permite desplegar ciertas funciones como priorización y marcación dentro de la LAN, esto haría más factible el despliegue de mecanismos de QoS dentro de la red de datos de la Universidad del Cauca y para el proveedor de servicio mantener estos niveles en su red WAN.
- Para que la Universidad del Cauca pueda responder al reto de ser pionera en los proyectos de interconectividad e2e entre redes de campus universitarios, requiere que la utilización de los recursos LAN sean optimizados y además tener la capacidad a mediano plazo de ofrecer servicios diferenciados para así poder acceder, explotar y



compartir los recursos que brindan otras redes de campus universitarias con DiffServ ya desplegado (que ofrecen servicios tales como video-conferencia, teleducación, trabajos colaborativos etc.)

- Ante el crecimiento de IP, los costos de las soluciones son cada vez más competitivos frente a soluciones planteadas con Frame Relay y ATM; esto hace posible que la administración de Universidad del Cauca realice inversiones a costos reducidos para la infraestructura de la red.
- Los proveedores de servicio están evolucionando su infraestructura red hacia una solución IP/MPLS. Esta tendencia ha requerido la implementación de DiffServ en las redes WAN con el fin de soportar la QoS de sus redes subscritoras (LAN).

Dentro de los objetivos de este trabajo de grado se estudia la forma en que la red de la Universidad del Cauca puede responder al reto de adecuar su infraestructura y el tráfico de la misma, para cumplir con los objetivos de diferenciación dentro de su red de Campus.

CAPITULO II

ARQUITECTURA DE DIFFSERV

Con el crecimiento explosivo de las redes IP y la correspondiente migración de aplicaciones en tiempo real, las redes basadas en el enfoque sin conexión, no garantiza el servicio y se hace indispensable establecer una arquitectura que permita el despliegue de QoS e2e en cada una de las infraestructuras de red. Esta arquitectura es DiffServ y se estudiara a continuación.

2.1. CALIDAD EN EL SERVICIO EN LA RED IP

La implementación de QoS en todos los componentes de la infraestructura desde la Red Área Local (LAN - Local Area Network) hasta la Red de Área Extendida (WAN - Wide Area Network) requiere de acuerdos estrictos en cada uno de estos componentes. Este nuevo enfoque de red con QoS e2e consta de tres elementos fundamentales: la red LAN del cliente, la WAN conformada por una red de distribución y backbone del proveedor de servicio; donde cada uno de estas infraestructuras manejan de forma diferente la QoS. Para llevar a cabo el despliegue QoS e2e es necesario analizar cada una de las redes, y la forma como ellas manejan la QoS borde a borde.

2.1.1. Red Área Local

El problema de la congestión en las redes LAN, es solucionado simplemente con el sobre dimensionamiento de la red. Esta opción consiste en incrementar el ancho de banda bruto de las infraestructuras (sobreingeniería de red), para de ésta forma evitar los efectos de la congestión dentro de la LAN. Como se estudio en el capítulo anterior, ésta es una solución a corto plazo, debido a que el creciente uso del ancho de banda, al incremento de usuarios y el tráfico variable en la red en determinados intervalos de tiempo, exige cada vez más recursos de la red.

Las redes LAN operan en el nivel 2; el nivel de enlace es el responsable de la creación de paquetes que incluyen el direccionamiento adecuado y el cálculo de una verificación de



redundancia cíclica, además de la transmisión de dichas paquetes. Otras funciones realizadas son la detección y corrección de errores, además de la utilización de conformaciones positivas y negativas para identificar si el destino ha recibido o no paquetes sin errores. Una función omitida es el tema de la QoS, pero se ha tratado de cubrir con la adición de aceleradores de tráfico tales como 802.1p y VLAN con 802.1q.

El estándar IEEE 802.1p representa a una técnica de priorización de nivel enlace en redes Ethernet que permite dar prioridades a cierto tráfico dentro la red. Este estándar ha sido implementado en conmutadores de nivel 2, que puede clasificar el tráfico hasta en ocho niveles de prioridad. En las redes LAN con 802.1p se coloca el tráfico en colas diferentes, en función del nivel de prioridad.

Aunque 802.1p proporciona un método para acelerar el tráfico, tienen varias limitaciones sobre todo cuando las paquetes cruzan una frontera de enrutador LAN/WAN y estas se convierten en paquetes de red perdiendo la prioridad. Dentro de este tipo de red Ethernet esta enmarcada la red LAN de la Universidad del Cauca, la cual no emplea mecanismos de priorización y ha utilizado el sobredimensionamiento de red para solucionar los problemas de congestión presentados en ella; y hasta ahora es una medida eficaz para el manejo interno del tráfico; pero cuando se requiere acceder a servicios externos a la LAN nuevamente se presentan los problemas de congestión, en el elemento de frontera debido a que el ancho de banda en la LAN es de uso libre y configurable por el administrador, mientras que el ancho de banda hacia la salida WAN es limitado. Esto genera cuellos de botella que no son solucionados por el sobredimensionamiento realizado en la LAN y lo que un sobredimensionamiento implicaría altos costos con el proveedor de servicios.

Tabla.2 - 1 Traslación de tipo de servicio a valor de prioridad en IEEE.802.1p

VALOR	PRIORIDAD	SERVICIO
0	0	<i>Best-effort</i> (por defecto)
1	1	Reservado, menos que el <i>best-effort</i>
2	2-3	Reservado
3	4	Sensible al retardo, sin limite
4	5	Sensible al retardo, limite 100 mseg.
5	6	Sensible al retardo, limite 10 mseg.
6	7	Control de red

IEEE 802.1p utiliza 3 bits (que son parte de la cabecera IEEE 802.1Q) que pueden representar 8 niveles de prioridad. La traducción del tipo de servicio al valor por defecto está en la 2-1 definida en el draf-issll-is802-svc-mapping-04 [H. Seaman, A. Smith, E. Crawley, J. Wroclawski, "Integrated Services Mappings on IEEE 802 Networks". Junio 1999].



El elemento de frontera LAN/WAN debe por lo tanto soportar el establecimiento de políticas de QoS para garantizar la conservación de las prioridades definidas dentro de la LAN. Esta solución se basa en el uso de funciones, tales como la definición de políticas de QoS, la marcación y la priorización de datos, administración de colas, control y eliminación de la congestión; conjunto de funciones que dotan de algún grado de inteligencia a la red LAN/WAN y que no requiere realizar grandes inversiones en la infraestructura de la red.

2.1.2. WAN

Dentro del escenario de la redes WAN de los proveedores de servicio tradicionalmente se han venido utilizando dos tipos distintos de redes para ofrecer servicios de voz o de datos. Por un lado, se han empleado redes basadas en tecnología de conmutación de circuitos, especialmente diseñadas para dar soporte a servicios de tiempo real, como la telefonía tradicional, puesto que eran las únicas capaces de satisfacer los estrictos requisitos de QoS impuestos por este tipo de servicio, sobre todo en lo que a retardos se refiere. Por otro lado, las aplicaciones de datos se adaptan mucho mejor a las características de las redes de conmutación de paquetes, que además garantizan la utilización de los recursos de una manera más eficiente.

La mayoría de redes WAN tiene una infraestructura ATM (Asynchronous Transfer Mode) para soportar la integración de aplicaciones con ciertas garantías de tráfico y QoS, no obstante es considerada como una solución de alto costo y compleja de administrar. Con estos antecedentes y con la aparición de nuevas aplicaciones demandantes de ancho de banda, se hace necesario que para su óptimo funcionamiento se plantee una migración hacia una infraestructura de red capaz de responder con la misma eficacia de ATM con una mayor escalabilidad. Frente a este reto los proveedores han optado por desplegar una sola infraestructura de conmutación de paquetes capaz de transportar tanto datos como voz.

Como respuesta a este reto los proveedores han optado por el despliegue masivo de redes IP logrando con ello la utilización eficiente de los recursos, pero introduciendo varios problemas relacionados con el soporte de QoS, debido a que el protocolo IP carece de las herramientas para garantizar los requisitos como reserva de recursos, no garantizan que los paquetes lleguen, con un retardo mínimo o con la variación acordada entre paquetes, no posee servicios diferenciados etc.



Esta situación obliga a los proveedores a desarrollar varias técnicas para proporcionar una funcionalidad de QoS en las redes IP. Existen varios métodos para acelerar el flujo de tráfico en la red LAN/WAN; para ello se utilizan técnicas de encolamiento, manejo del campo ToS todo enmarcado bajo la arquitectura DiffServ que permite la adecuación del tráfico del cliente para que la red del proveedor de servicio mantenga la QoS e2e.

Los proveedores de servicios han optado por la arquitectura DiffServ como solución para ofrecer servicios con diferentes requisitos de QoS e2e en la redes IP. Esta arquitectura propuesta en la recomendación RFC 2475 [An Architecture for Differentiated Service] divide las redes en dos componentes: uno enrutador entrante/saliente o de frontera y otro interno o de núcleo. El enfoque de este capítulo radica en el estudio de la arquitectura DiffServ en la sección LAN/WAN definiendo las características y técnicas utilizadas ella, para el elemento de frontera de la red DiffServ.

2.2. SERVICIOS DIFERENCIADOS (DIFFSERV)

Los Servicios Diferenciados (DiffServ) son una arquitectura propuesta por el IETF en el RFC 2475 [An Architecture for Differentiated Service] y complementada en el RFC 2474 [Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers] basados en una serie de mejoras del protocolo IP que permiten discriminar los servicios en diferentes tipos de tráfico, de forma escalable, sin la necesidad de mantener enlaces por flujo permanentes, ni señalización en cada salto

2.2.1. Elementos funcionales de DiffServ

Dentro de la arquitectura propuesta en la recomendación RFC 2475 para la realización de la diferenciación de servicios, se dividen las redes en dos componentes: uno de frontera y otro de núcleo de red (**Figura.2-1**). De esta manera se ofrecen funciones de QoS como marcación, clasificación, policing y conformación de tráfico en la frontera de la red lo más cercano a la red LAN, para lograr una mayor escalabilidad y mejor granularidad en la selección de los parámetros de QoS de las aplicaciones. Como el objetivo principal del núcleo de red es transportar el tráfico de la manera rápida y con la mayor eficiencia sólo se realizan funciones de reclasificación de datos, análisis y distribución de tráfico.

La mayor cantidad de funciones para realizar la diferenciación en la red se implementan en el componente de frontera en donde se aplican la mayor cantidad de funciones para lograr una solución escalable y no sobrecargar el procesamiento en el backbone de red.

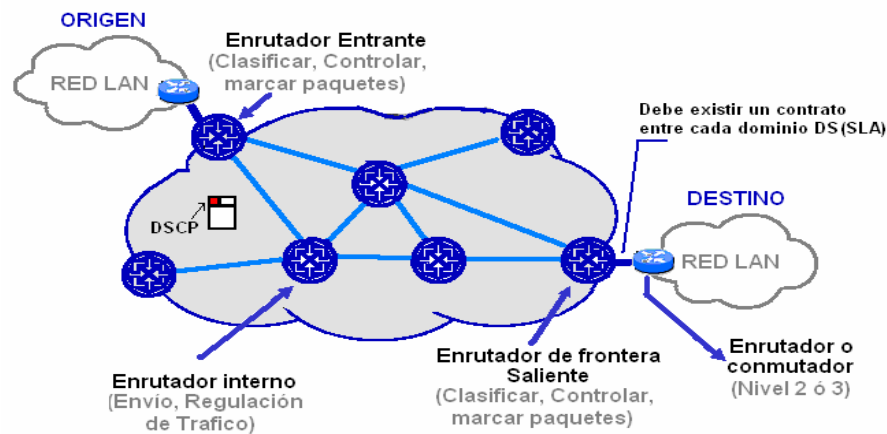


Figura.2- 1. Red DiffServ

2.2.2. Funciones en una red DiffServ

Dentro de un nodo DiffServ se pueden realizar cinco funciones que permiten dar un trato diferencial a los diferentes tipos de datos presentes en una red. En los nodos no es necesario realizar todas las funciones, queda a criterio del administrador de la red realizar las que se consideren convenientes.

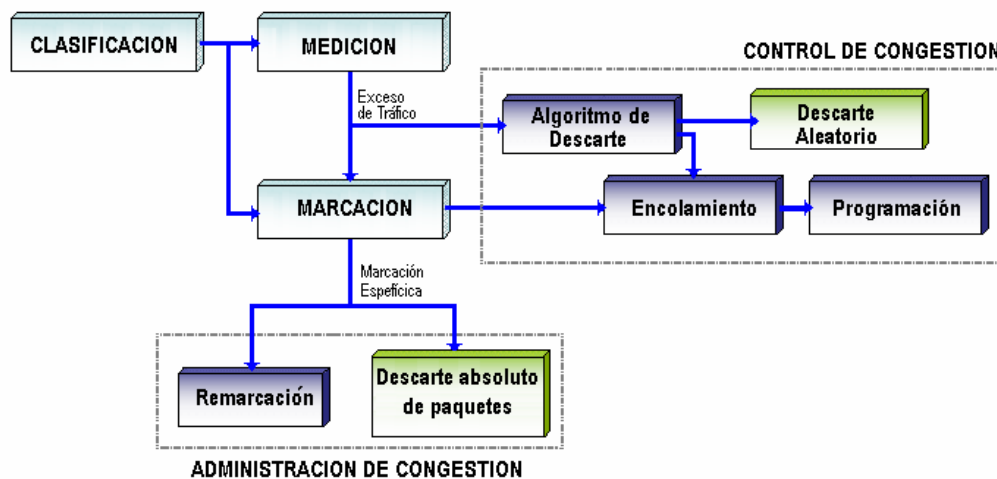


Figura.2- 2. Bloques funcionales de un nodo DiffServ

Las funciones de clasificación, medición de tráfico, programación de envío de datos, encolamiento y descarte de paquetes pueden ser vistas como bloques funcionales, los cuales están concatenados para lograr la diferenciación en el servicio de cada uno de los paquetes que son direccionados en los enrutadores en donde estas funcionalidades son soportadas, **Figura.2-2.**



CLASIFICACIÓN. La clasificación de los datos en la frontera de la red, consiste en la selección de los paquetes de datos de acuerdo a información contenida en múltiples campos de la cabecera IP asignados para llevar información de QoS, esta información puede estar contenida en el campo llamado punto de código DiffServ DSCP en cada uno de los paquetes IP.

MARCACION. La función de marcación esta funcionalidad marca los paquetes del cliente en el campo DS con un valor específico DSCP. De acuerdo a las reglas del Acuerdo de Acondicionamiento de tráfico (TCA), los paquetes son marcados/remarcados para determinar el comportamiento por salto (PHB) que se debe aplicar al paquete. Al marcar cada paquete como miembro de una clase se puede reconocer rápidamente la clase del paquete a través del resto de la red.

ADMINISTRACIÓN DE LA CONGESTION: Cada interfaz de los dispositivos debe ser capaz de utilizar mecanismo para priorizar la transmisión de los paquetes. Este se logra a través de diferentes algoritmos de encolamiento.

ELIMINACIÓN DE LA CONGESTION: Esta funcionalidad se aplica cuando la congestión ocurre y es inevitable sacar paquetes de las colas de servicio de acuerdo a la prioridad asignada, para eliminar la congestión.

MEDICIÓN DEL TRÁFICO: Esta funcionalidad mide las propiedades temporales del tráfico previamente clasificado. Esta información es comparada con el perfil de tráfico especificado en el TCA, o utiliza otras funciones de acondicionamiento de tráfico que se utilizan para limitar la velocidad del tráfico. Existen dos tareas específicas en esta función que son:

- **Vigilancia de tráfico:** A través de esta funcionalidad se limita la cantidad de recursos de ancho de banda asignado a cada clase de tráfico o aplicación para evitar que el tráfico entrante sature al dispositivo.
- **Formación de tráfico:** Esta funcionalidad divide y asigna espacio en los buffer de memoria de los dispositivos para que los paquetes sean almacenados cuando el límite de la atención en la cola es alcanzado para evitar que estos sean descartados inmediatamente.

Las funciones más complejas se realizan en los nodos de frontera como son la clasificación y marcación; las funciones de adecuación de tráfico como shaping se realizan en el equipo del cliente y los procesos de descarte y encolamientos se realizan dentro de la red del proveedor de servicio.



2.3. CLASIFICACIÓN DE DATOS EN REDES DIFFSERV

Los paquetes provenientes de la red LAN con marcación 802.1p con clasificados en el elemento de frontera LAN/WAN de la red DiffServ en cuatro clases denominados **PHB** (Comportamiento por salto), a través del campo **DSCP** (Differentiated Services Code Point); para posteriormente ser marcados. En los nodos internos de la red DiffServ se definen los mecanismos de comportamiento por salto (**PHB**), los cuales determinan las políticas de encolamiento y descarte que serán aplicados a estos datos.

Actualmente existen cuatro tipos de servicios DiffServ:

- **PHB por Defecto** (Best Effort sin prioridad). No ofrece ninguna garantía. (Equivalente a UBR en ATM).
- **PHB de Reenvío Libre** (Best Effort con prioridad). Sin garantías, pero obtendrá trato preferente frente al BE sin prioridad. (Equivalente a ABR en ATM).
- **PHB con Tránsito Asegurado** (Assured forwarding). Asegura un trato preferente, pero sin fijar garantías. Se definen cuatro clases y en cada una tres niveles de descarte de paquetes (Equivalente a VBR-nrt en ATM).
- **PHB de Reenvío Expedito** (Expedited forwarding). Equivale a una línea dedicada. Garantía de caudal, tasa de pérdidas, retardo y jitter. (Equivalente a CBR y VBR-nrt en ATM).

2.4. MARCACIÓN Y PRIORIZACIÓN DE DATOS

La arquitectura de Servicios Diferenciados debe ser capaz de distinguir diferentes clases de servicio marcando los paquetes provenientes de la red LAN (nivel 2), conservando todas las exigencias de QoS de los paquetes y permitiendo que los enrutadores de frontera sean capaces de darle prioridad a los datos. La funcionalidad de marcación permite dividir el tráfico en diferentes niveles de prioridad o CoS, en este proceso toda la información incluida en la clasificación de datos permite cambiar la forma en que estos son manipulados por la red WAN.

Esta marcación permite mapear los parámetros de QoS del nivel enlace al nivel de red. De esta forma los paquetes con QoS establecida en el nivel 2 a través del protocolo **802.1p** (como es el caso de la red Ethernet de la Universidad del Cauca) pueden conservar estas características al ser enviados a una red WAN, ya que esta red al trabajar



en el nivel 3, sólo verifica la información de la cabecera IP para determinar el tipo de ruta y mapea la prioridad asignada en la LAN definiéndola a través del campo DSCP.

2.4.1. Servicios Diferenciados (DS)

Para aplicar la diferenciación de servicios, se definió un campo que sustituyera las actuales definiciones del campo ToS en IPv4 y el Traffic Class del IPv6. Los primeros 6 bits son utilizados como parte del código mientras que los últimos dos bits deben ser ignorados por los nodos que tengan implementado Diffserv. La estructura del campo DSCP se muestra en la **Figura.2-3**.

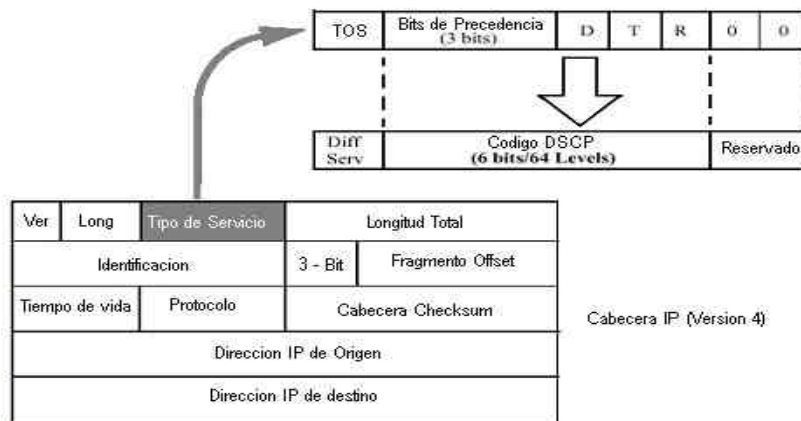


Figura.2- 3.Campo Diffserv con sus componentes DSCP y Reserved

DSCP = DiffServ Code Point. **Reserved** = se utiliza actualmente para el control de congestión a través de método de Notificación Explícita de Congestión (ECN).

2.4.2. Relación entre el PHB y los diferentes valores de DSCP

Tabla.2 - 2 Relación entre el Comportamiento por Salto (PHB) y el campo DSCP

NOMBRE	PHB	VALOR DSCP		
Expedited Forwarding Assured Forwarding	EF	EF = 101110		
	AFxy x = 1, 2, 3, 4 y = 1, 2, 3	AF11	AF11 = 001010	AF31 = 011010
		AF12	AF12 = 001100	AF32 = 011100
		AF13	AF13 = 001110	AF33 = 011110
		AF21	AF21 = 010010	AF41 = 100010
		AF22	AF22 = 010100	AF42 = 100100
		AF23	AF23 = 010110	AF43 = 100110
Best Effort	BE	BE = 000000		



En los RFC 2474 y RFC 2475 la IETF recomienda asignar ciertos valores del campo DSCP a cada uno de los PHB que han sido definidos. En la Tabla 2.2 se resume la relación entre los PHB definidos por las recomendaciones y sus posibles valores en el campo DSCP.

Como se observa en la tabla 2.2 para el PHB de reenvío asegurado existen dos subíndices **X** y **Y** que definen respectivamente: 'X' define la forma de encolamiento del dato para ser reenviado y 'Y' define la prioridad de descarte del dato.

2.5. ADMINISTRACIÓN DE LA CONGESTION

Un concepto clave para DiffServ, es el tratamiento de la congestión en el entorno LAN/WAN, en la **Figura.2-4**, se observa el comportamiento de los mecanismos de QoS frente a la congestión. La congestión puede ocurrir en cualquier punto de la red en donde existan interfaces de velocidad asimétricas o en puntos de agregación o confluencia de datos. La administración de colas permite proporcionar el ancho de banda y el retardo que los servicios requieran de una manera justa sin afectar el servicio de otras aplicaciones, de una buena administración de los mecanismos de encolamiento depende la rapidez con la cual los dispositivos van a responder al fenómeno de la congestión.

Las características con las cuales los dispositivos de red determinan la longitud de las colas son: basándose en el ancho de banda asignado a la interfaz y de acuerdo a la CoS atendidas por el dispositivo.

Para controlar los parámetros de QoS más importantes a través del encolamiento se deben tener en cuenta la cantidad de recursos de red asignados a cada CoS y ciertos parámetros deben ser adaptados para lograr un comportamiento adecuado de la red.

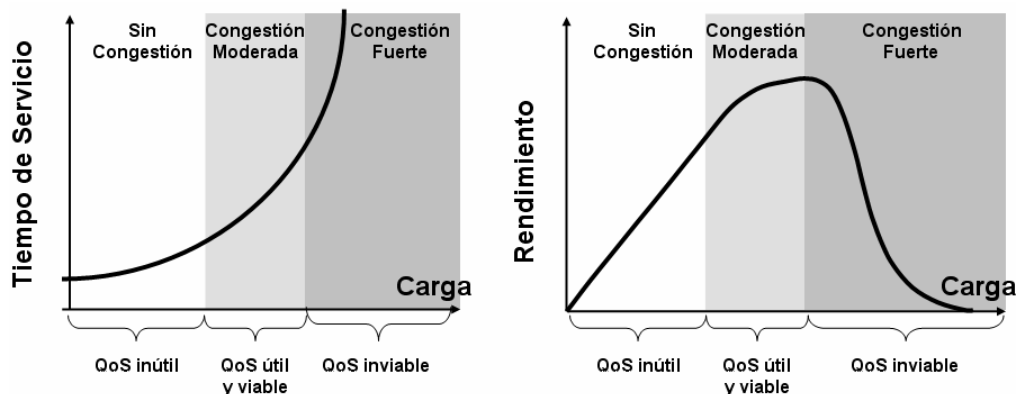


Figura.2- 4. Comportamiento de la red frente a la congestión



Para el retardo se debe controlar:

- La variación de velocidades con la que los paquetes llegan a la misma.
- La longitud de la cola; y
- La cantidad de tráfico que soporta en cada ronda de servicio de atención de colas y cantidad de colas.

Para controlar el Jitter se debe analizar:

- El retardo en la cola.
- El retardo en las otras colas y,
- El tiempo que consume cada ronda de atención de colas

La pérdida de paquetes se determina por:

- La velocidad con la que los paquetes son colocados en las colas.
- La longitud de la cola y,
- Los parámetros de descarte de paquetes implementado en las colas.

2.5.1. Manejo de la congestión

Para administrar la congestión, los dispositivos DiffServ cuentan con varios tipos de algoritmos de encolamiento como son GPS, FIFO, PQ, WFQ, CBQ. Cada uno de estos tipos de algoritmo, responde a ciertas necesidades (retardo, jitter y perdida paquetes) de las aplicaciones cursantes en la red, para brindarles un trato diferenciado y permitir que los datos etiquetados con altos requisitos de QoS sean atendidos de la forma más eficientemente posible por el dispositivo de red.

2.5.1.1. Cola GPS

La GPS (Generalized Processor Sharing) es un mecanismo de planificación que se usa para decidir cuál será el próximo paquete a enviar sobre un enlace dado. GPS simplemente reparte el ancho de banda entre todas las colas de forma proporcional al peso. GPS es un algoritmo ideal, imposible de implementar, dado que asume que el servidor puede atender simultáneamente todas las cosas y que el tráfico es fluido, cuando en un sistema realista solo se puede atender una cola cada vez.

2.5.1.2. Cola FIFO

En este algoritmo los primeros datos en llegar son los primeros en ser atendidos y salir y por lo tanto no realiza ningún tipo de priorización de los datos. Todos los paquetes de



datos son clasificados en una sola CoS y cuando el tamaño de la cola se ha copado los datos siguientes son descartados. Las características de este algoritmo son:

- Simple y rápido (mientras no se llene la cola) con un solo mecanismo de envío de paquetes.
- Soportado por todos los dispositivos de red (enrutadores y switches).
- Se puede generar congestión si una sola aplicación consume todo el espacio en la cola.
- Se genera mucha variación en el retardo debido a que al ser una sola cola cuando se presentan ráfagas de datos se llena temporalmente.
- No es adecuada para ambientes en donde se presten múltiples servicios.

2.5.1.3. Cola de Prioridad

En este tipo de encolamiento los paquetes son primero clasificados por el sistema y colocados en diferentes colas de prioridad. Los paquetes que se encuentran en la cabecera de una cola son enviados si las colas de mayor prioridad están vacías. La atención dentro de cada una de las colas sigue el algoritmo FIFO.

Como se observa en la **Figura.2-5** además de los elementos funcionales que tiene la cola FIFO a esta cola se le agrega un planificador de salida de paquetes antes de llegar al puerto de salida para atender primero las colas con una asignación de mayor prioridad.

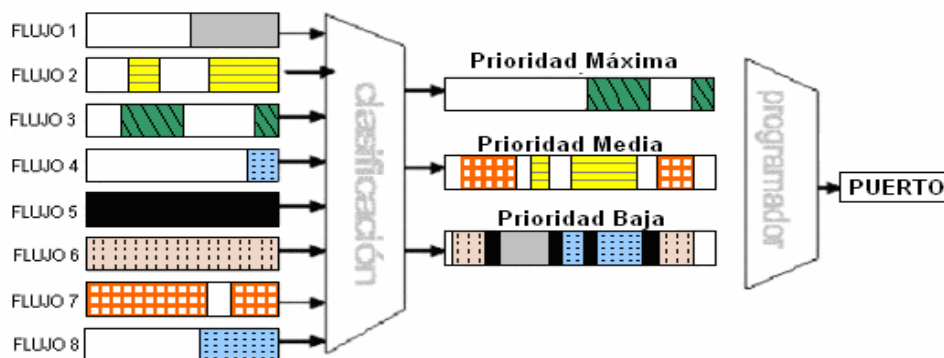


Figura.2- 5. Encolamiento por prioridad con sus tres colas de prioridad

Las características de este algoritmo son:

- Las colas de prioridad utilizan pocos recursos del procesador del dispositivo comparado con otro tipo de disciplinas de encolamiento.
- Permite a los enrutadores almacenar adecuadamente en colas los paquetes de acuerdo a sus necesidades de tiempo real o no.
- Si el tráfico de alta prioridad no es restringido o condicionado en la frontera de red, el tráfico de baja prioridad puede sufrir excesivos retardos.



- Si el tráfico de alta prioridad es excesivo, mucho tráfico de baja prioridad será descartado, esto puede generar latencia con las continuas retransmisiones.

El tráfico se asigna a cada una de las colas prioritarias (alta, media o baja), basándose en criterios como el protocolo de red, tamaño del paquete, interfaz de origen o una lista de acceso que identifique las direcciones específicas o protocolos de capa superior. El tamaño de las colas se asigna independientemente a cada una de ellas.

2.5.1.4. Encolamiento Justo (Encolamiento por flujos)

Este encolamiento fue desarrollado para que cada flujo de datos tenga un acceso equitativo a los recursos de red y así prevenir posibles ráfagas de datos que consumen más del ancho de banda permitido. El tráfico se separa en varias colas distribuyéndose equitativamente el ancho de banda, además cada cola es atendida en cada ronda lo que asegura que ninguna este desocupada. Para que entre en funcionamiento se debe configurar manualmente en el dispositivo las siguientes características: Qué tráfico se asocia a cada una de las colas, cuántos paquetes pueden esperarse en cada cola y qué cantidad de ancho de banda se asigna a cada cola. Los elementos que se observan en la **Figura.2-6** que conforman el encolamiento justo son:

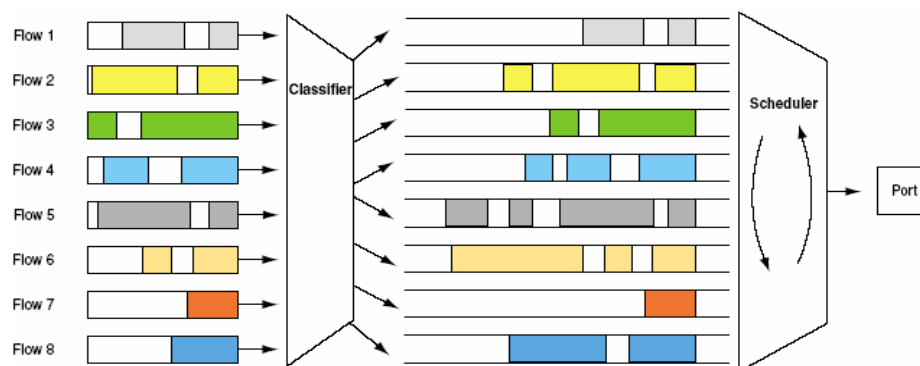


Figura.2- 6. Encolamiento justo con un programador de colas a la salida

- **Elemento Clasificador:** Los paquetes son clasificados primero en flujos por el enrutador y son asignados a una cola que esta dedicada únicamente a atender ese flujo.
- **Elemento de atención de colas:** Cada una de las colas es atendida una vez en cada una de las rondas de atención de colas realizada a través de Round Robin. Round Robin es un modo de atención de colas en las que se atiende a través de una ronda una por una las colas.



Las características de este algoritmo son:

- Los flujos que tienen presencia de ráfagas, no degradan la QoS entregada a otros flujos porque cada cola permanece aislada.
- La cantidad de ancho de banda es distribuido para cada uno de los flujos por igual y por lo tanto no soporta flujos de tráfico con diferentes requisitos.
- Se consigue igual tiempo de atención para todas las colas sólo si los paquetes de las colas son del mismo tamaño; por lo tanto los flujos que contengan paquetes de mayor tamaño consiguen una mayor porción de ancho de banda de salida frente a un flujo con paquetes de menor tamaño.
- Este encolamiento es sensible al orden de llegada de los paquetes, si un paquete llega a una cola vacía inmediatamente después de ser atendida, el paquete tiene que esperar a la otra ronda de servicio de cola para ser enviado.

2.5.1.5. Encolamiento por Pesos (WFQ)

Este tipo de encolamiento, introducido con el nombre de Weighted Fair Queueing (WFQ) o encolamiento basado en pesos, es un intento de aproximarse a un modelo de flujo perfecto (GPS General Processor Sharing) con un procesador compartido entre los distintos flujos de acuerdo a unos pesos predeterminados. De esta forma, el ancho de banda se reparte proporcionalmente entre los distintos flujos.

Este tipo de encolamiento utiliza un algoritmo en el que cuando llega una trama o paquete se analiza y se le asocia una etiqueta (Time Stamp, TS) que determina el tiempo que el paquete debe esperar para ser atendido. La trama o paquete a transmitir será la que tenga el valor TS más pequeño. Aplicando este procedimiento a paquetes dentro de las colas WFQ, y teniendo en cuenta la velocidad del puerto de salida, el número de colas, la prioridad asignada a cada una de las colas, y al tamaño de los paquetes se puede calcular un tiempo de salida del paquete de su respectiva cola. El paquete con mayor prioridad es el que posea el menor valor de TS asignado. Se debe aclarar que este tiempo asignado al paquete, no equivale al tiempo que se tomará el sistema para enviarlo.

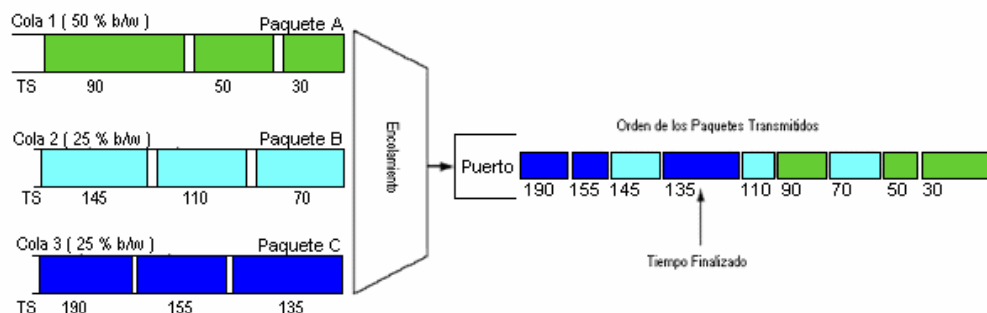


Figura.2- 7. Orden de salida en un esquema de encolamiento por pesos



Como se observa en la **Figura.2-7** a los paquetes se les ha asignado un TS, dentro del esquema de Round Robin, en cada una de las rondas se atiende a un solo paquete de las tres colas y selecciona el paquete con el menor TS asignado. En este caso en la primera ronda de atención se selecciona el paquete con el TS= 30, en la segunda ronda selecciona el paquete con el TS=50 que pertenece a la misma cola anteriormente seleccionada. De esta forma se logra una distribución justa del ancho de banda pero teniendo en cuenta la prioridad del paquete.

Las características del algoritmo WFQ son:

- Proporciona protección de ancho de banda a cada una de las CoS asegurando un nivel mínimo de ancho de banda asignado, independientemente del comportamiento de otras CoS's.
- Cuando se realiza además con acondicionamiento de tráfico en el borde de la red se garantiza ancho y un retardo mínimo para las aplicaciones que lo requieran.
- No es recomendado en interfaces de baja velocidad.
- Un flujo de tráfico con mal comportamiento (mayor velocidad) dentro de una CoS podría afectar otros flujos dentro de la misma CoS.

2.5.1.6. Encolamiento basado en clases (CBQ)

En este tipo de encolamiento los paquetes son primero clasificados dentro de varias CoS (p.e. Aplicaciones tiempo real, interactivos, datos) y son asignados a una cola destinada a atender dicha aplicación. Las colas son atendidas bajo los parámetros de Round Robin, pero en este caso está capacitado con una variación para atender varias veces ciertas colas de datos y así puede enviar varios paquetes dentro de la misma ronda de servicio o enviar varios paquetes porque tiene mayor ancho de banda asignado.

Las características de este tipo de encolamiento son:

- Este encolamiento es basado en hardware y por lo tanto puede ser aplicado en interfaces de baja velocidad.
- Controla el ancho de banda de salida para cada CoS.
- Asegura que cada CoS tiene acceso al menos al ancho de banda con la que fue configurada.
- Proporciona un mecanismo eficiente para la administración de los recursos entre todas las CoS.



2.5.2. Algoritmo de encolamiento seleccionado

Dentro de las características y ventajas que presentan los tipos de encolamiento vistos anteriormente; a corto plazo se debe mantener el esquema FIFO para el equipo de frontera LAN/WAN de la red de la Universidad del Cauca debido a que es una red esencialmente dirigida a enviar datos no dependientes del tiempo; a mediano plazo, cuando sea necesario implementar la red multiservicio empleando DiffServ se recomienda configurar el esquema CBQ en los dispositivos, para permitir el control de los parámetros de QoS (retardo, jitter, pérdida de paquetes, ancho de banda) y compartir proporcionalmente los recursos de la red.

2.6. ELIMINACION DE LA CONGESTION

Cuando la congestión ocurre y los recursos de las colas están saturados para atender nuevos paquetes no queda otra opción que la de controlar y descartar paquetes para eliminar la congestión. Las herramientas que se emplean para eliminar la congestión son: Tail drop, RED y WRED. Para que los enrutadores puedan responder proactivamente a la congestión, la acción de descartar paquetes cuando la cola se encuentra completamente llena no es suficiente para solucionar el problema, se deben realizar tareas de marcación y posterior descarte para evitar lo mas rápido posible la congestión. Existen dos mecanismos que permiten conocer el estado de las colas: la Detección Aleatoria Temprana (RED) y Detección Aleatoria Temprana por Clases (WRED); estos mecanismos permiten notificar a los dispositivos de red la existencia de congestión.

2.6.1. Tail Drop

Con Tail drop no se realiza ningún tipo de gestión de las colas, simplemente los paquetes que estén saturando una cola y los que lleguen después de alcanzar el límite permitido a la cola, son descartados hasta que halla espacio de almacenamiento en la cola.

Características de Tail Drop:

- Es fácil de implementar.
- Si la cola tiene gran capacidad de memoria con Tail drop los paquetes descartados disminuyen.
- Tail drop no descarta paquetes hasta que la cola este completamente llena, lo que puede generar una caída absoluta de la conexión.



2.6.2. Detección aleatoria temprana (RED)

Con este mecanismo un solo paquete descartado es suficiente señal para que el protocolo de nivel de transporte se entere de que algún punto en el camino del enlace existe congestión. Para realizar esto el enrutador de llegada envía una señal implícita de congestión al enrutador de origen y este a su vez disminuye su velocidad de transmisión para así evitar el descarte de más paquetes y la congestión del enlace.

2.6.2.1. Funcionamiento de red

RED debe evitar la congestión en la red, asegurándose que la cola no se llene. Para ello calcula constantemente la longitud media (el tamaño) de la cola y la compara con dos umbrales o límites, un umbral mínimo (Threshold Min_{th}) y otro máximo (Threshold Max_{th}). Se configura después una probabilidad de descarte según el porcentaje de ocupación de la cola. Si el estado de ocupación de la cola es menor al mínimo valor de ocupación (Threshold Min_{th}) el paquete nunca es descartado. Si el estado de ocupación de la cola excede el máximo valor de ocupación (Threshold Max_{th}) configurada de antemano en RED, la cola empieza actuar como si estuviera en Tail Drop todos los paquetes en exceso se descartan.

Si el estado de ocupación de la cola esta entre Min_{th} y Max_{th} los paquetes serán descartados de acuerdo a la probabilidad de descarte configurada en los parámetros de RED. Cuando hay bloqueo de los paquetes, RED escoge las conexiones en la que bloqueará los paquetes de una forma aleatoria. Las conexiones que usen mayores cantidades de ancho de banda serán las que tengan una probabilidad más alta de que se bloqueen sus paquetes.

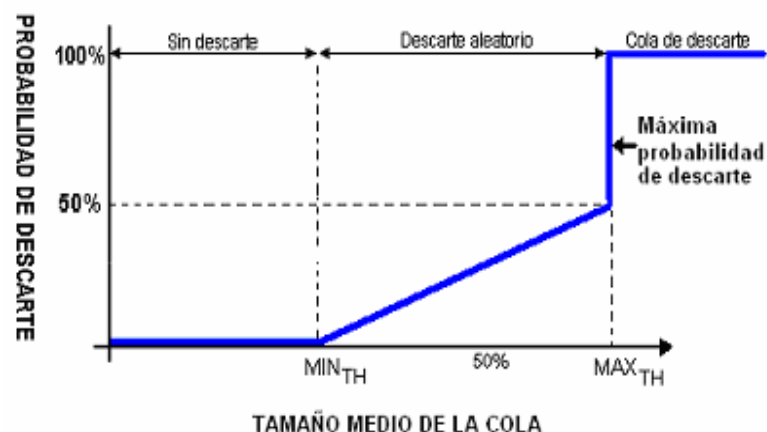


Figura.2- 8. Perfiles de RED



En la **Figura.2-8** se observa que para un porcentaje de ocupación de la cola del 25% o menos la probabilidad de descarte es cero. Para un porcentaje de ocupación del 50% existe un 0.25 de posibilidad de descarte. Para un porcentaje de ocupación de la cola del 75% existe una probabilidad de descarte del 0.50. Para un porcentaje de ocupación de la cola del 85% o mayor los paquetes sobrantes son sacados de la cola.

2.6.2.2. Características de RED

- RED identifica los periodos de congestión para retirar aleatoriamente los paquetes. Si la congestión continua RED aumenta la probabilidad y la cantidad de paquetes a descartar.
- Como RED no espera hasta que la cola de paquetes sature los dispositivos de red, permite la existencia de ráfagas de tráfico.
- Ofrece un funcionamiento adecuado a tráfico con presencia de ráfagas (TCP) porque no se eliminan grupos de paquetes pertenecientes a la misma sesión.
- Mantiene la cantidad de tráfico en un nivel moderado. La idea no es mantener un tamaño de cola siempre pequeño porque esto causa una subutilización de la capacidad del puerto, tampoco el objetivo es mantener el tamaño de la cola en su máxima capacidad porque se presentaría muchos descartes de paquetes.
- Permite una configuración proactiva según las necesidades del tráfico en la red.
- RED afecta solamente tráfico TCP, para tráficos como ICMP, UDP la función de RED es transparente. En este caso cuando RED retira un paquete que no es TCP, no existe notificación a la red de la presencia de congestión.

2.6.3. Red por clases (WRED)

Es una ampliación del algoritmo RED que asigna diferentes prioridades de descarte para diferentes tipos de tráfico. Esto permite aplicar perfiles de descarte menos agresivos a cierto tipo de paquetes respecto a otros cuando se presente la congestión.

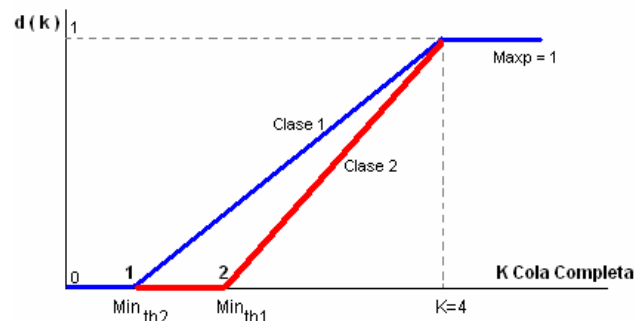


Figura.2- 9. Cola WRED.

Una cola con WRED implementada, en donde la clase 1; tiene una mayor capacidad de congestión.



Como se observa en la **Figura.2-9** se muestra un sistema con WRED en la cual dos tipos de tráfico tienen el mismo valor de umbral máximo pero diferente umbral mínimo de descarte. La clase 1 tiene su umbral de descarte en $K= 2$ mientras que la clase 2 tiene un valor de descarte con $K= 1$ lo cual hace que su cola, sea mucho mas restrictiva.

2.6.3.1. Bloques funcionales de WRED

Los elementos funcionales de WRED observados en la **Figura.2-10** se describen a continuación:

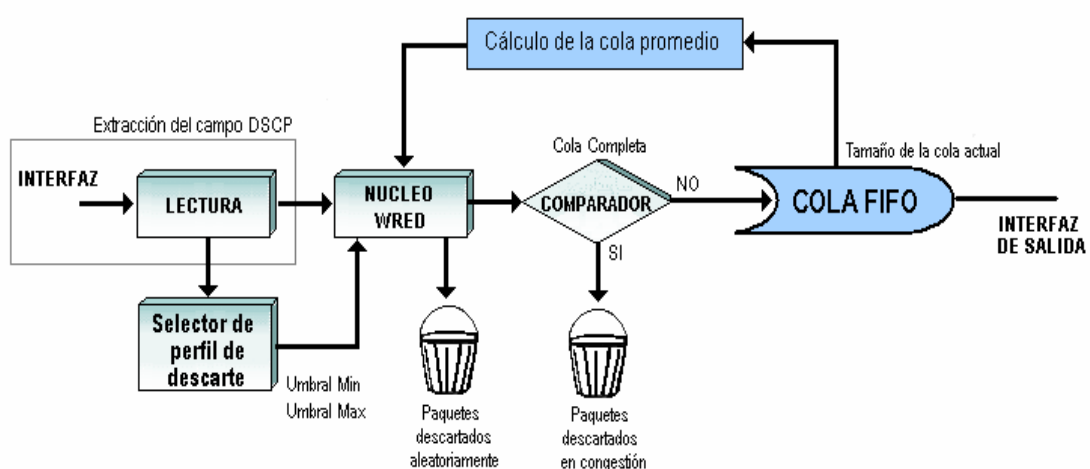


Figura.2- 10. Bloques funcionales de WRED

- **Interfaz:** sitio por el que llegan los paquetes IP.
- **Lectura** del campo CoS extraída del campo IP precedence o DSCP.
- **Selector del perfil de descarte:** Se lee la información perteneciente a la cola referente al mínimo y máximo umbral de descarte de paquetes.
- **Núcleo WRED:** en este elemento se realiza el descarte aleatorio de los paquetes.
- **Elemento comparador:** después de realizar el descarte aleatorio se compara con el valor umbral máximo, para determinar si la cola se encuentra llena. Si la respuesta es positiva se descartan los paquetes sobrantes a través del descarte Tail Drop.
- **Interfaz de Salida:** por donde salen los paquetes que no han sido descartados, ellos salen en un ordenamiento FIFO.



2.6.4. Notificación explícita de congestión (ECN)

ECN (Explicit Congestion Notification) propone una visión experimental para la arquitectura de las redes IP, en cuanto a la administración activa de colas; semejante a RED, ECN responde a la congestión para marcar los paquetes en exceso y enviar una notificación explícita de congestión al equipo que está generando los datos en exceso. Cuando la fuente de datos recibe este mensaje disminuye la velocidad de envío.

ECN está implementado como mecanismo de control de congestión en el nivel IP y para ello se propone la utilización de los dos últimos bits del campo DiffServ de la cabecera IP.

2.6.4.1. Funcionamiento de ECN

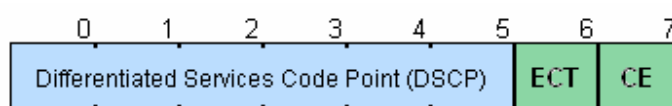


Figura.2- 11. ECT y CE

Con este modelo se logra que a través de los campos ECT (ECN Capable Transport) y CE (Congestion Experienced) del campo DS, **Figura.2-11** se logre comunicar el estado de congestión de una sesión de envío establecida. El bit ECT, indica el protocolo de nivel de transporte (TCP ó UDP) que se está utilizando y el campo bit CE indica la existencia de la congestión en la transmisión.

2.6.4.2. Características de ECN

- Con ECN se busca eliminar la sincronización global de TCP.
- Permite a la red tener un mecanismo para controlar las ráfagas de tráfico.
- Permite controlar el tamaño promedio de las colas.
- Reduce la cantidad de paquetes descartados comparados frente a mecanismos de control como RED o WRED.
- Como se requiere realizar cambios a nivel de hardware, para determinar el tipo de protocolo no está muy difundido.

2.6.5. Modelo de descarte seleccionado

El administrador de red deberá determinar el esquema descarte de paquetes más indicado a utilizar teniendo en cuenta el SLA establecido con el proveedor de servicio. Si el SLA contratado establece sólo la disponibilidad de servicio como parámetro de QoS se



debe aplicar Tail Drop, pero si la SLA además de considerar la disponibilidad involucra otros parámetros de QoS (p.e. retardo jitter, pérdida de paquetes) para ciertos servicios, el administrador de la LAN debe implementar un esquema mas robusto que le permita realizar un uso optimo del enlace WAN al poder determinar que tipo de paquetes debe descartar antes de enviarlos a la interfaz de salida WAN.

El SLA actual de la red da datos de la Universidad del Cauca, solo le exige al SP una disponibilidad de 99.5% y un ancho de banda de 2Mbps; sin considerar parámetros adicionales como jitter, pérdidas de paquetes, retardo mínimo etc. Lo que conlleva a que el modelo de descarte sea Tail Drop. Pero para desplegar QoS e2e hacia Internet es necesario que el administrador de la red implemente en el equipo de frontera de la LAN el modelo WRED; que se ajusta a los requerimientos de descarte cuando existe diferenciación en los servicios.

2.7. MEDICIÓN DE TRÁFICO

La medida del tráfico proporciona la capacidad de controlar las ráfagas temporales de datos y mantiene a largo plazo una velocidad promedio constante. Esto es necesario para poder cuantificar la cantidad de tráfico que cursa cliente-proveedor y compararla con el tráfico contratado en el SLA. De esta forma se garantiza que un paquete o un flujo de datos además de cumplir con los requisitos de velocidad de tráfico, reciba la QoS necesaria de acuerdo a las necesidades de la aplicación. La técnica para la medición del tráfico es Token Bucket,

2.7.1. Técnica Token Bucket

La técnica más común para medir el tráfico es la implementación de un buffer bajo el parámetro de *Token Bucket* que mide y compara los flujos de datos para saber si cumplen con el ancho de banda contratado en caso contrario elimina o remarca los datos que sobrepasan este requisito con prioridades mas bajas de reenvío.

Este mecanismo consiste en asignarle a cada conexión unos testigos o tokens de forma regular (velocidad constante). Estos tokens son unidades enteras abstractas que representan una cierta capacidad de transmisión que tiene que ser atendida por la red. La velocidad con la que son generados estos testigos para cada conexión depende de la tasa de transmisión pactada en el momento de establecer la conexión.



A medida que la conexión va recibiendo servicio, se le van retirando un token proporcionalmente al servicio recibido. El número de testigos acumulados por una conexión mide la capacidad que tiene que asignarle la red al servicio. También es de suponerse que solo se podrá transmitir cuando existan tokens disponibles.

Lo que se logra con Token Bucket es la posibilidad de que el sistema pueda transmitir ráfagas de datos hasta cierto limite establecido para la interfaz sin tener que descartar datos lo que se descarta en este caso son Token.

El funcionamiento de Token Bucket, esta definido por tres variables:

- **P: Tasa promedio de generación de tokens.** Este término se especifica cuantos tokens serán creados por unidad de tiempo.
- **B: Profundidad del token,** Es el número tokens que el sistema soporta antes de empezar a descartar paquetes.
- **L: Tamaño del token.** Es la capacidad del token.

El Token Bucket se observa en la **Figura.2-12** y funcionalmente realiza lo siguiente: el cubo contiene tokens generados a una velocidad constante. El cubo puede admitir como máximo B tokens, estando al inicio lleno. Para que se transmita un bit o grupo de bits se tiene que coger un Token del cubo y eliminarlo. Mientras existan tokens en el cubo, la fuente puede insertar el tráfico a la red a la tasa deseada P. Cuando se acaban los tokens tendrá que esperar al próximo Token que se genere, lo que implica que la tasa de transmisión disminuye a velocidad media. De esta manera lo que permite el Token Bucket es poder transmitir en un determinado intervalo de tiempo a tasas superiores a la velocidad media.

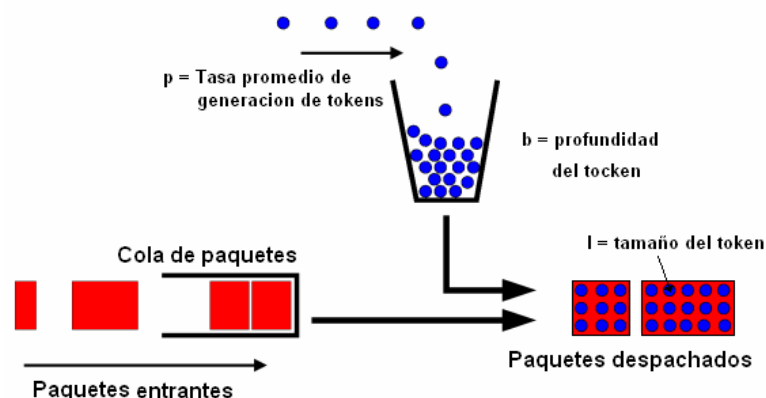


Figura.2- 12. Token Bucket



2.7.2. Mecanismos para controlar el tráfico

Existen dos formas para regular el tráfico en una red, ambas vigilan si el tráfico esta cumpliendo con la velocidad acordada a través del algoritmo de medida de tráfico Token Bucket pero difieren en la forma en que intentan resolver el problema y en la forma en que utilizan el esquema Token Bucket. Los mecanismos son los siguientes.

2.7.2.1. Conformación de Tráfico (Traffic Shaping)

La conformación de tráfico (Traffic Shaping) permite controlar el tráfico que sale de una interfaz para adecuar su flujo a la velocidad de la interfaz de llegada en el otro extremo del enlace y asegurarse que el tráfico este conforme con el SLA contratado. Un conformador de tráfico lo que hace es retrasar el exceso de tráfico utilizando una memoria intermedia (buffer), para retener los paquetes cuando la velocidad del flujo de datos es mayor que la velocidad con la que pueden ser reenviados por el enrutador. Como se observa en la **Figura.2-13** las funciones que se deben desplegar son: clasificar, comparar los parámetros del tráfico y encolarlos adecuadamente.

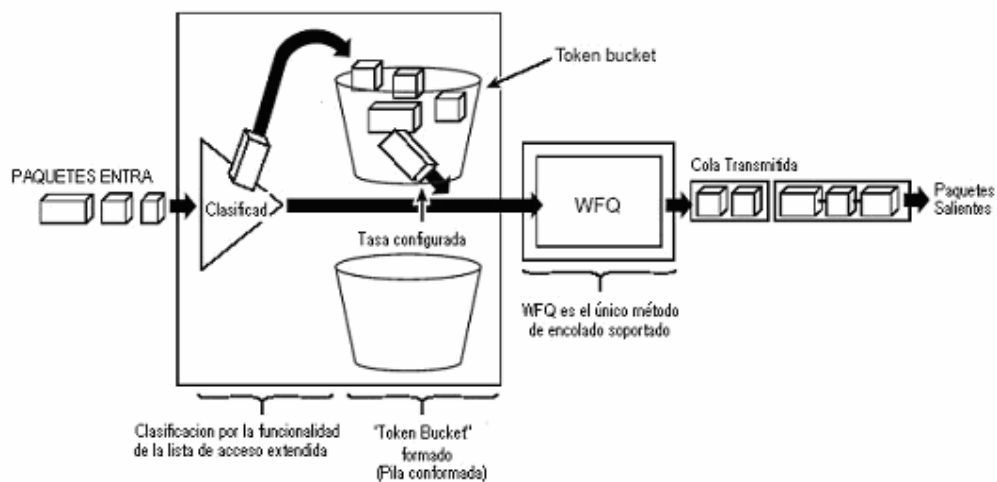


Figura.2- 13. Esquema de Traffic shaping con Token Bucket implementado.

En la **Figura.2-13** se observa la forma cómo se efectúa la conformación de tráfico en una interfaz, los paquetes entran en el dispositivo para ser clasificados cuando la clasificación es realizada entra en funcionamiento el Token Bucket que determina la conformación del tráfico saliente, si en sus reservas tienen tokens para enviar paquetes este es enviado. Si no existen tokens entra en funcionamiento el algoritmo de encolamiento que permite retener los paquetes para cuando haya disponibilidad de tokens. De esta forma no se pierden paquetes de información útil sino tokens.

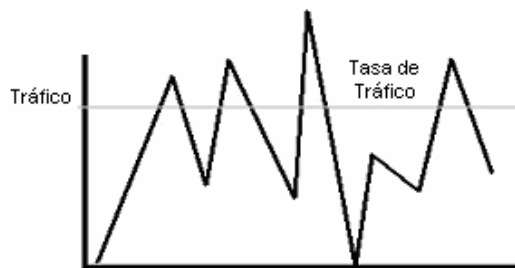


Figura.2- 14. Tráfico sin shaping

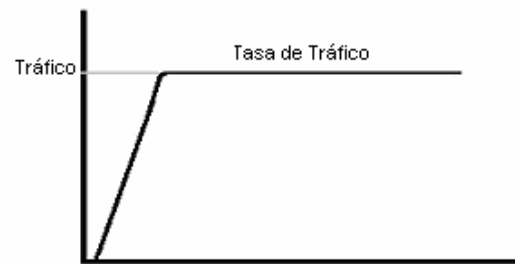


Figura.2- 15. Tráfico con shaping

La utilización de Traffic Shaping, es de vital importancia en la red LAN porque garantiza que esta red conserve un tráfico constante, independiente de las ráfagas que se generen internamente en la LAN; esto garantiza que el dispositivo de frontera mantendrá una tasa constante de paquetes descartados en caso de congestión.

Como se ilustra en la **Figura.2-14** y **2-15** a forma en que se afecta el tráfico en una interfaz de un equipo de red cuando se realiza Traffic shaping. En la **Figura.2-14** se observa el flujo de salida sin aplicar la conformación de tráfico y se observan picos de tráfico con un valor mayor que la velocidad promedio, lo que se pretende es que en los intervalos en donde no se alcance el valor máximo de transferencia de datos se envíen los datos que anteriormente no fueron enviados para tener una velocidad constante de salida de datos como se observa en la **Figura.2-15**.

Para implementar Traffic Shaping en el equipo de Frontera de la Red de Datos de la Universidad del Cauca, se consideran las siguientes razones:

- Controlar el acceso de las aplicaciones al ancho de banda, para garantizar que el cliente cumpla con la velocidad de tráfico contratada.
- Configurar la velocidad de tráfico en una interfaz que atiende acceso de red con diferente velocidad.
- Prevenir la pérdida de paquetes, porque este método permite almacenar paquetes para enviarlos cuando no exista congestión.

2.7.2.2. Traffic Policing

La vigilancia de tráfico (Traffic Policing) garantiza que el tráfico entrante no exceda en mucho la velocidad promedio contratada; este mecanismo de control de tráfico complementa el trabajo realizado por Traffic Shaping. La vigilancia de tráfico es implementada por el proveedor de servicio en el dispositivo de fronteras de la red WAN, porque este es el encargado de verificar que el tráfico de los clientes no supere la



capacidad instalada. Esta vigilancia permite mantener y controlar el tráfico y así evitar que un cliente afecte el rendimiento de su red y por ende los servicios de otros clientes.

La vigilancia de tráfico permite ráfagas de datos a través del mecanismo Token Bucket pero además permite un exceso de tráfico denominada BE (Excess Burst Size) que admite ráfagas mayores al BC (Committed Burst Size) configurado en el Token Bucket, esto se hace con el fin de evitar descartar demasiados paquetes. Cuando el parámetro BE es igual al parámetro BC, todo el tráfico mayor a BC en cualquier intervalo de tiempo es descartado. Cuando se configura BE con un valor mayor al BC, se permite sobrepasar el valor de BC en algún momento dado. El límite de tráfico en este caso es controlado a través de un mecanismo de descarte como RED. La gran diferencia entre Policing y Shaping es que el tráfico en exceso cuando se hace shaping se encola para retardarlo y cuando se realiza policing el tráfico en exceso es descartado.

2.8. ALCANCES DE DIFFSERV

Al definir un dominio DiffServ, la red WAN involucrada tiene la capacidad de manejar QoS entre sus nodos, precisando un plan de políticas basado en la diferenciación de tráfico o servicios, y comunicando estos acuerdos de QoS con otros dominios. En la arquitectura de servicios diferenciados, los paquetes son clasificados en el dispositivo de acceso a la red LAN/WAN, y ya dentro de la red el tipo de procesamiento que reciban los paquetes va a depender del contenido del encabezado. El esquema de servicios diferenciados delimita las funciones que se tienen que realizar en los nodos de ingreso a la red y en los nodos internos de la red. Los nodos de acceso a la red se encargan de realizar la clasificación de paquetes en clases y la monitorización del tráfico (medida, conformación y/o descarte). Los nodos interiores se encargan de realiza el reenvío (forwarding) de paquetes mediante la asignación de recursos por clases. Para lograr estas funciones es necesario realizar algunas implementaciones tales como CBQ y WRED. Donde, con CBQ se logra encolar los flujos de tráfico, priorizando los que requieran una QoS mayor y con WRED descartar los paquetes antes de que se sature el enlace, desechando en primer lugar los de menor calidad.

Como se observa a lo largo del capítulo, en el modelo DiffServ debe haber una interacción muy activa entre las características de QoS que quiere el cliente y las que la red le puede ofrece. Los mecanismos de DiffServ proporcionan un servicio mejorado, al mismo tiempo permiten al administrador de la red gestionar los recursos de red de forma eficaz. Para el caso de la red de la Universidad del Cauca para implementar servicios diferenciados se



requiere acondicionar el tráfico antes hacia la salida del proveedor de servicio con la finalidad de mantener la calidad establecida inicialmente por los usuarios.

Los elementos de control del tráfico (incluyen algoritmos de cola y clasificación de paquetes) realizados en el dispositivo de frontera DiffServ garantizan eficiencia en el manejo del tráfico; pero después de este tratamiento nuevamente los paquetes presentan los problemas de IP en la red WAN; puesto que el enrutamiento se realiza bajo los mismos paradigmas de las redes IP convencionales y no se puede garantizar prestaciones óptimas e2e. La razón de esta deficiencia radica en que en cada enrutador para enviar los paquetes debe analizar la cabecera IP y determinar el PHB que se le debe asignar en el siguiente salto. Esto es contraproducente porque el procesamiento que debe soportar los enrutadores es alto y además aumenta el retardo en el enrutamiento los paquetes. La alternativa para evitar esto es implementar MPLS en la red del proveedor, la conmutación de etiquetas MPLS es una excelente herramienta para combatir la latencia y el jitter debido a la rapidez con la cual se logra analizar el destino en los paquetes procesados. Con esta simple operación se logra disminuir la latencia en la red.

MPLS ofrece información a la red que facilita el despliegue de QoS e2e basada en la información DiffServ; en este contexto los mecanismos de envío y configuración son soportados de forma recomendable por MPLS.

DiffServ es una arquitectura que define una variedad de mecanismos para poder clasificar el tráfico en un reducido número de clases de servicio, con diferentes prioridades. MPLS se adapta perfectamente a ese modelo, ya que las etiquetas MPLS tienen el campo EXP para poder mapear en este campo la información QoS de los paquetes IP. De este modo, una red MPLS puede transportar distintas clases de tráfico, ya que:

- El tráfico que fluye a través de un determinado camino se puede asignar a diferentes colas de salida en las diferentes rutas, de acuerdo con la información contenida en los bits del campo EXP.
- Entre cada par de enrutadores exteriores se pueden provisionar múltiples caminos, cada uno de ellos con distintas prestaciones y con diferentes garantías de ancho de banda. p.e. un camino puede ser para tráfico de máxima prioridad, otro para una prioridad media y un tercero para tráfico best-effort, tres niveles de servicio, oro, plata y bronce, que lógicamente, tendrán distintos precios.

MPLS se estudiara en el próximo capítulo, donde se definen las características propias de MPLS y el enfoque que se tomará para garantizar y soportar QoS dentro de una red de proveedor de servicio.

CAPITULO III

DIFFSERV SOBRE MPLS

Dentro de los objetivos generales de esta monografía está el estudio del estado del arte para desplegar QoS e2e dentro de las redes IP; en el primer capítulo se analizaron las características de la calidad de servicio, sus parámetros, además se describieron los problemas que trae consigo el crecimiento explosivo de las redes IP y las posibles soluciones propuestas por los organismos que regulan el mercado de las telecomunicaciones. En el segundo capítulo se explicó la arquitectura DiffServ, como solución para desplegar servicios diferenciados sobre IP, dentro de los dos entornos para la prestación de un servicio de transmisión de datos como son: la red del cliente y la frontera de red del proveedor. Para el primer escenario DiffServ sirve para adecuar el tráfico de la LAN a los requisitos de QoS definidos por el administrador de red. Para el segundo, DiffServ se convierte en la herramienta que controla, verifica y garantiza que se respete por ambas partes (proveedor y cliente) el SLA contratado. En este capítulo se analiza el escenario de la red WAN del proveedor en donde se debe recibir tráfico de múltiples clientes (con diferentes requerimientos de calidad) y mantener extremo a extremo las características de QoS inicialmente mapeadas en la frontera por el enrutador DiffServ. (**Figura 3-1**)

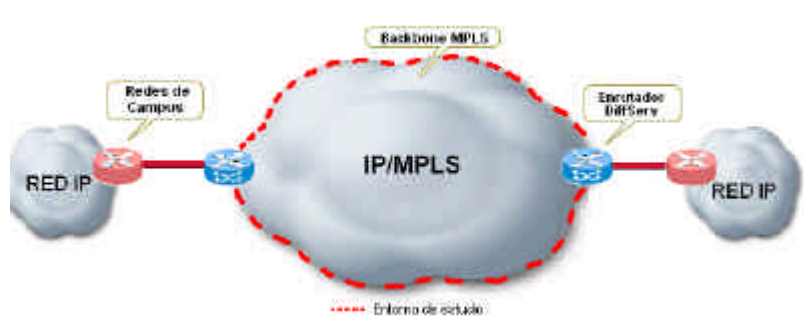


Figura.3- 1. Calidad del servicio en la red Backbone

La presente sección se centra en el estudio de las características que tiene MPLS en la implementación y el despliegue de la calidad en una red bajo el esquema de la Diferenciación en el Servicio. En la primera parte se da a conocer la primera aproximación de DiffServ para soportar la CoS sobre MPLS, en donde se ofrece calidad de servicio de



manera parcial porque no se garantizan los recursos de red requeridos para los servicios. La segunda parte, trata sobre la QoS desplegada extremo a extremo (e2e) en una red MPLS, pero teniendo en consideración la Ingeniería de Tráfico (TE) para garantizar los recursos según el SLA comprometido con el cliente. Esta forma de involucrar DiffServ y la TE que ofrece MPLS permiten establecer las políticas y herramientas necesarias para no solamente reservar recursos en función de los LSP sino que asigna recursos según la prioridad del LSP y según el tipo de servicio que se transporte por el mismo.

3.1. RAZONES PARA NO IMPLEMENTAR MPLS EN UNA RED LAN

La razón por la cual MPLS no aplica directamente a la Red de Campus

- MPLS implica un sobredimensionamiento para una red LAN y esta solución se quiere evitar.
- MPLS fue diseñado para solucionar problemas de redes WAN y no esta enfocada a las redes LAN.
- La universidad no tiene actualmente aplicaciones que requieran QoS e2e.
- El tráfico cursado y generado por la red de Campus hace innecesario MPLS.
- MPLS complicaría la administración la red de Campus.
- Aunque la solución adquirida por la Universidad del Cauca de 5 enrutadores Catalyst 3750 soporta Conmutación de Etiquetas, esta requería adicionalmente adquirir el software de manejo de etiquetas que comparado con los equipos es 400% mas costoso.

3.2. RAZONES PARA IMPLEMENTAR QoS EN UN BACKBONE IP/MPLS

Entre las necesidades actuales del mercado de las telecomunicaciones la de recibir servicios con mayores prestaciones de QoS es uno de los aspectos de valor agregado que mas influye a la hora de adquirir un servicio; esto obliga a que los proveedores de servicios implementen infraestructuras de redes capaces de diferenciar los servicios. Para los proveedores esto puede ser una amenaza pero también crea oportunidades de negocio, porque:

- La diferenciación de los servicios da a los proveedores la posibilidad de incrementar sus ingresos al poder ofrecer servicios con mejores parámetros de QoS que los ofrecidos en una red IP convencional con su servicio best Effort.



- El incremento en la demanda de servicios en tiempo real como VoIP y vídeo requieren que las redes proporcionen un bajo jitter y retardo.
- En el nuevo modelo de mercado, los clientes sólo están dispuestos a pagar por los recursos de red utilizados; lo que obliga a los proveedores a realizar clasificación de sus servicios, sin sobredimensionar la red.
- Los clientes actualmente, solicitan enlaces con un mayor ancho de banda y sobre los cuales se transporten múltiples aplicaciones, con diferentes niveles de QoS. El proveedor debe ofrecer SLA más dinámicos en donde no solo se ofrezca ancho de banda sino productos y servicios adecuados a las necesidades del cliente.

Dentro de la arquitectura DiffServ estudiada en el capítulo anterior, se observó que no es el esquema suficiente para ofrecer QoS e2e, debido a que hasta ahora no es posible encontrar una red pura basada en el protocolo IP que implemente y soporte QoS e2e, sino que se ha optado por soluciones mixtas que se complementan entre sí. Una de las soluciones más empleadas está basada en la implementación IP sobre un núcleo de red ATM, que permite emplear mecanismos maduros para ofrecer ciertas garantías de QoS, algo que hoy por hoy, no es posible realizar con una arquitectura basada exclusivamente en IP convencional.

La solución IP/ATM tradicional que proporcione QoS e2e plantea un modelo en el que los enrutadores IP además de realizar la diferenciación del tráfico, requieren establecer circuitos virtuales para optimizar y garantizar la utilización eficiente de los recursos de la red. Sin embargo, esta solución no es eficiente y presenta los problemas de escalabilidad característicos de ATM, ya que el número de circuitos virtuales necesarios crece de manera exponencial con el número de nodos existentes en la red. Con el protocolo MPLS (MultiProtocol Label Switching) se logra unificar las capacidades de gestión de tráfico de nivel 2 con la flexibilidad y la escalabilidad propias del enrutamiento de nivel 3. La conmutación de etiquetas MPLS es una excelente herramienta para combatir la latencia y el jitter e2e debido a la rapidez con la cual se logra analizar el destino en los paquetes procesados. De esta manera empleando la combinación DiffServ – MPLS se consigue que las redes de datagramas sean capaces de funcionar como redes de conmutación de circuitos virtuales con altas prestaciones de QoS.



3.2.1. Calidad de servicio con MPLS

MPLS trae además la funcionalidad para los administradores de habilitar en la red los parámetros necesarios para ofrecer un trato diferencial a las CoS e2e dentro de una red de conmutación de etiquetas.

Tabla.3 - 1 Clases de servicio en MPLS

SERVICIO	CLASES	DESCRIPCIÓN
Paquete clasificado	Los paquetes son clasificados en la frontera de red antes de ser etiquetados en el E-LSR.	Utiliza los bits ToS, para asignar cada paquete a una interfaz o cola de servicio determinada.
Eliminación de la congestión	Empleando WRED los paquetes son diferenciados para determinar su probabilidad de descarte	WRED monitorea el tráfico de red para anticiparse y prevenir la congestión muy común en los cuellos de botella cuando se esta en al frontera WAN/LAN
Administración de la congestión	Se utiliza WFQ, para realizar el encolamiento basado en la clasificación de servicio para satisfacer los requerimientos de retardo y jitter del paquete.	WFQ, es un sistema de encolamiento que asegura la distribución justa del ancho de banda para todo el tráfico de la red. Este encolamiento emplea la prioridad asignada al paquete para asignarle un ancho de banda específico.

Esta funcionalidad, resumida en la Tabla 3-1 define diversas Clases de Servicio (CoS), estas pueden ser establecidas para los paquetes IP a través del campo DSCP de cada paquete. MPLS tiene la capacidad de realizar la diferenciación en el servicio de acuerdo a los siguientes parámetros

- Clasificación de los paquetes.
- Algoritmo de eliminación de la congestión.
- Tipo de encolamiento.

3.2.2. Beneficios de MPLS para el backbone

MPLS ofrece los siguientes beneficios cuando se realiza clase de servicio:

- **Distribución eficiente del ancho de banda.** Como se utiliza WFQ, se puede distribuir el ancho de banda, no solamente por criterios de Ingeniería de tráfico, sino que se tiene en cuenta la clase de servicio o el tipo de envío que es atendido. Esto le ofrece mayor dinamismo en la asignación de ancho de banda para las diversas clases de servicio.



- **Mapeo en los E-LSR:** La red MPLS permite mantener la CoS definida desde el terminal origen (Red LAN) hasta el terminal extremo a través del mapeo de la información del campo DSCP al campo EXP. Teniendo en cuenta que la red MPLS debe ser capaz de hacer agregación de tráfico para hacer la solución escalable y ofrecer QoS a muchos clientes.
- **IP-MPLS:** MPLS se ha convertido en el esquema más idóneo para que los proveedores de servicios ofrezcan QoS a través de IP, dentro de una infraestructura de red desarrollada para Frame Relay y ATM. Esto debido a que puede realizar envío transparente frente a cualquier tipo de protocolo de enlace.
- **QoS con MPLS:** Con la unificación de las características QoS y TE de MPLS se puede garantizar altas prestaciones de servicio extremo a extremo.

Los esquemas de tratamiento diferenciado de servicios sobre redes WAN y LAN se definen en el capítulo siguiente.

3.3. RFC 3270: MPLS SUPPORT OF DIFFERENTIATED SERVICES

Con el despliegue de la tecnología MPLS en las redes de backbone de los proveedores de servicio se hizo posible utilizar todas las capacidades que esta ofrece para mapear y mantener la información referente a QoS de cada uno de los flujos de paquetes, paquetes o celdas que llegan a la frontera de red MPLS.

El RFC 3270 llamado "**MPLS SUPPORT OF DIFFERENTIATED SERVICES**" describe los mecanismos que posee MPLS para desplegar la diferenciación de servicios extremo a extremo. En la **Figura.3-2** se discriminan cada una de las partes de la etiqueta MPLS:

- Etiqueta: Campo de 20 bits que transporta el valor asignado a la etiqueta MPLS.
- EXP: También llamado campo Experimental se utiliza para mapear la información de QoS
- S: Se utiliza para indicar la presencia de una pila de etiquetas MPLS. Si su valor es uno (1) significa que existen varias etiquetas apiladas. Si su valor está en cero (0) significa que es la única etiqueta presente en la pila.
- TTL: Tiempo de vida se utiliza para saber el número de saltos que debe realizar el paquete a través de la red MPLS hasta alcanzar su destino. El valor es copiado del encabezado del paquete IP al encabezado MPLS al ingresar al LSP y copiado al encabezamiento IP cuando sale del LSP. Con la información TTL se evita la formación de bucles de datos que utilicen ancho de banda ociosamente.

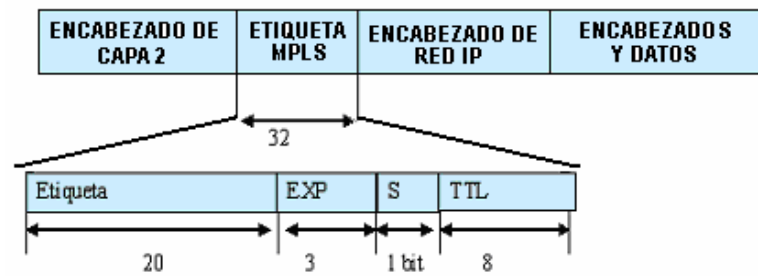


Figura.3- 2. Etiqueta MPLS con su componente de CoS

Como los conmutadores MPLS toman sus decisiones de envío basados solamente en la información contenida en la etiqueta MPLS se hace necesario mapear la información de QoS contenida en el campo DSCP de la cabecera IP que fue marcada inicialmente en los enrutadores de frontera DiffServ, a algún campo de la etiqueta MPLS debido a que en el backbone de red MPLS la información por debajo de esta etiqueta es totalmente transparente para el proceso de enrutamiento y control de los datos.

La solución propuesta por la IETF fue la de asignar esta tarea al campo experimental (EXP) de la cabecera en la etiqueta MPLS para transportar la información de diferenciación en el servicio. Como el campo experimental EXP tiene tres bits de capacidad menos que el campo DSCP del paquete IP se crea un conflicto porque se necesitan mapear hasta 64 valores dentro de un campo que solo soporta 8 valores. Se requiere por lo tanto, crear caminos conmutados de etiquetas (LSP) capaces de agregar varios valores de DSCP y además transportar y mantener la información de QoS de los paquetes IP.

3.4. ESQUEMAS DE TRANSPORTE EN MPLS

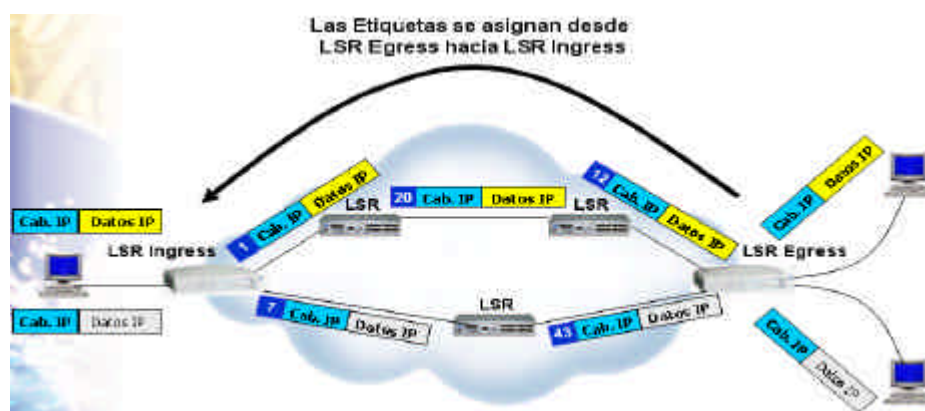


Figura.3- 3. Esquema de transporte en MPLS.



En la **Figura.3-3 y 3-4** se presenta el procedimiento que sigue un paquete de datos a través de un dominio MPLS:

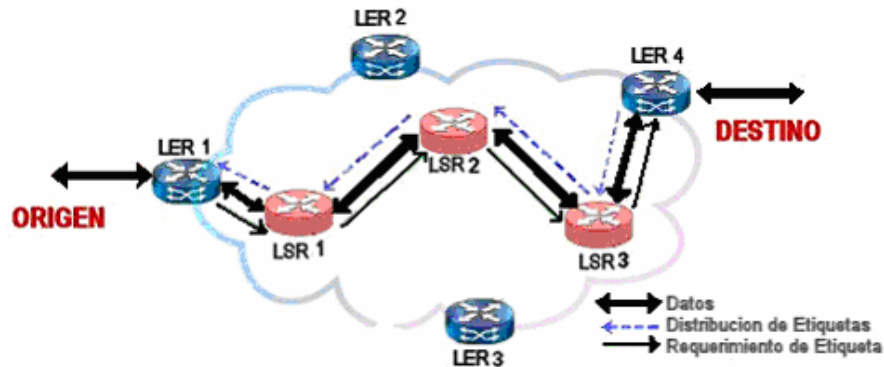


Figura.3- 4. Creación de LSP y envío de paquetes a través de un dominio MPLS.

Creación y distribución de etiquetas. Antes de iniciar la transferencia de tráfico, los enrutadores asocian una etiqueta a un FEC específico y construyen sus tablas de enrutamiento. En el LDP, los enrutadores inferiores inician la distribución de etiquetas y determinan el conjunto etiqueta, mientras que las características relacionadas con el tráfico y capacidades de MPLS son negociadas usando LDP.

Creación de tablas en cada enrutador. A partir de la recepción de la etiqueta, cada LSR crea entradas en la Base de Información de Etiquetas (LIB). El contenido de la tabla especificará el mapeo entre una etiqueta y un FEC, mapeando en la tabla el puerto de entrada y la etiqueta de entrada con la tabla del puerto de salida y la etiqueta de salida. Las entradas son actualizadas aunque ocurra la renegociación de la asociación de la etiqueta.

Creación de rutas conmutadas de etiquetas. En la **Figura.3-4** se observa, con la línea punteada, como los LSPs son creados en dirección inversa a la creación de entradas en las LIBs.

Tabla la inserción de etiquetas. El primer enrutador (LER-1) usa la tabla LIB para encontrar el próximo salto y requerir una etiqueta para el FEC específico. Una vez que el paquete alcanza al LSR de egreso (LSR-3), la etiqueta es removida y el paquete es despachado a su destino (LER-4).

Envío de paquete. La solicitud de envío del paquete se propagará a través de la red (como es indicado por la línea delgada-continua). Cada enrutador intermedio recibirá una etiqueta de su enrutador vecino inferior comenzando desde el LER 2 y va hasta el LER 1. Para el LSP (es indicado por la línea punteada) se usa cualquier protocolo de



señalización. Si es necesario mecanismos de Ingeniería de Tráfico, el CR-LDP será empleado para determinar la ruta requerida para asegurar las exigencias de QoS y CoS. El LER 1 insertará la etiqueta y enviará el paquete a LSR 1. Cada LSR subsecuente, p.e. el LSR 2 examinará la etiqueta en el paquete recibido, la reemplazarán con la etiqueta de salida y la enviarán. Cuando el paquete llegue al LER 3, se removerá la etiqueta porque el paquete esta partiendo desde un dominio MPLS y se liberara en su destino. La ruta del dato actual seguida por el paquete es indicada por la línea gruesa-continua.

Tabla.3 - 2 Ejemplo de tabla LIB.

Puerto de entrada	Etiqueta de puerto de entrada	Puerto de salida	Etiqueta de puerto de salida
1	3	3	6
2	9	1	7

La **Tabla 3-2**, muestra como son tratados los flujos de dos tráficos diferentes, p.e. teniendo dos flujos de paquetes de datos entrando a un dominio MPLS (vídeo y datos FTP), estos flujos de paquetes son clasificados en dos FECs separados en el LER de ingreso. El mapeo de etiquetas asociadas con las corrientes son 3 y 9 respectivamente y los puertos de entrada del LSR son 1 y 2, respectivamente. Las interfaces de salida correspondientes son 3 y 1. El intercambio de etiquetas también debe ser hecho, y las etiquetas previas deben ser intercambiadas por 6 y 7 respectivamente.

3.5. CAMINOS CONMUTADOS DEFINIDOS EN MPLS

Dentro de la estructura de MPLS se crearon dos caminos conmutados (LSP) capaces de soportar el mapeo de la información de QoS que traen consigo los paquetes IP al campo experimental de la etiqueta MPLS, como también la asignación de la etiqueta a su correspondiente PHB. Los dos LSP definidos son: LSP cuyo comportamiento es deducido del campo experimental (E-LSP) y LSP cuyo comportamiento es deducido de la etiqueta (L-LSP).

Como dentro del backbone de red MPLS es imposible asignar un PHB a cada grupo de BA debido a la gran cantidad de procesamiento de maquina que se necesitaría del enrutador MPLS factor que incidiría negativamente en su rendimiento para mantener la QoS se hace necesario agrupar las políticas de QoS y la clasificación de las CoS con el objetivo de aumentar la agregación de los datos.



Para la implementación de los LSP con capacidad de QoS el RFC 3270 definió dos términos que relacionan la forma en que la información de DiffServ debe ser agrupada y seleccionada para poder ser manipulada en una red MPLS. Esos términos son definidos a continuación:

- **Ordered Aggregate (OA):** Dentro de la arquitectura DiffServ se agrupan los datos en BA de acuerdo a las necesidades de encolamiento y de descarte, el término Ordered Aggregate permite agrupar los BA en grupos con perfiles de calidad de servicio menos restrictivos para permitir la escalabilidad dentro de la red MPLS. Esto implica que cada grupo de paquetes agregado en un Ordered Aggregate es atendido por la misma cola.
- **PHB Scheduling Class (PSC):** Son el conjunto de uno o más PHB que son aplicados a los BA que pertenecen a un mismo Ordered Aggregate. Por ejemplo el PHB AF1X se convierte en el PSC que agrupa los PHB AF11, AF12 y AF13. El PHB EF es un ejemplo de un PSC que comprende una sola política de reenvío. Esto implica que el grupo de PHB que pertenecen a un PSC, es asignado a una cola determinada.

La diferencia que existe entre el PHB de DiffServ y el PSC del RFC 3270 es que mientras en el PHB tiene en cuenta tanto la prioridad para encolar los paquetes como su prioridad de descarte, en el PSC solo se tiene en cuenta la forma en que se encolan los paquetes etiquetados y no se tiene en cuenta la probabilidad de descarte.

3.5.1. E-LSP

Un E-LSP es un LSP con el cual los nodos MPLS utilizan la etiqueta para determinar la ruta que debe seguir el paquete y además se utiliza el campo EXP para asignar el PHB (cola utilizada y probabilidad de descarte) que debe ser aplicado a los paquetes durante el proceso de reenvío.

Cada E-LSP es capaz de transportar hasta un máximo de ocho clases de tráfico o PHB dentro del campo EXP sin tener en cuenta todos los bits del DSCP de DiffServ. Como el campo DiffServ del paquete IP posee 6 bits de tamaño se pueden definir hasta 64 PHB y el campo EXP de la etiqueta MPLS solo tiene tres bits se hace necesario agrupar varios PHB para signarles un valor de EXP igual.

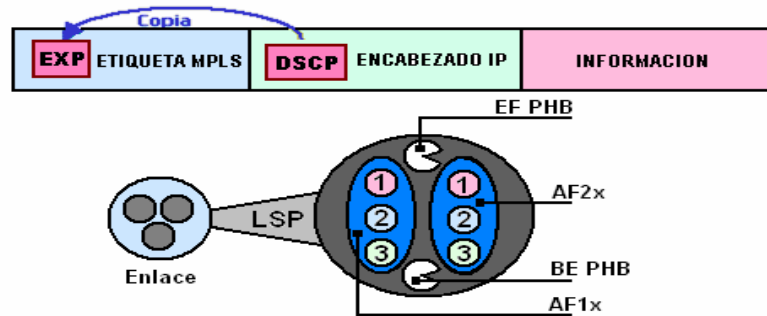


Figura.3- 5. E-LSP.

Estructura de un E-LSP en donde se ha mapeado la información del campo DSCP en el EXP

Como se observa en la **Figura.3-5** dentro del campo EXP se mapea la información del campo DSCP y se capacita al E-LSP para transportar varias clases de PHB dentro del mismo LSP con un máximo hasta de 8 PHB.

3.5.2. L-LSP

Estos LSP se aplican a las redes que necesitan diferenciar más de ocho clases de servicio o PHBs. Como el campo EXP no puede llevar toda la información necesaria para clasificar los diferentes PHB se utiliza el resto de la etiqueta MPLS.

Para establecer el L-LSP, primero la etiqueta determina tanto la ruta del paquete como la programación de encolamiento que se le debe asignar y el campo EXP se utiliza solamente para transportar la información referente a la prioridad de descarte del paquete. Como se observa en la **Figura.3-6** el L-LSPs solo puede llevar los paquetes de un único PHB, o de varios PHBs que tengan la misma programación de encolamiento pero diferente probabilidad de descarte.

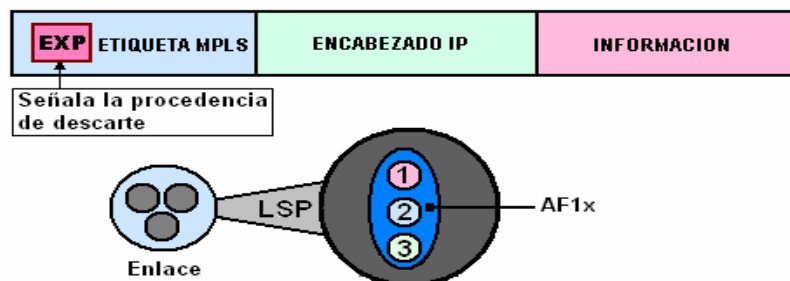


Figura.3- 6. L-LSP.

Estructura de un L-LSP en donde se ha mapeado la información del campo DSCP en el campo EXP



3.5.3. Comparación y utilidad de los L-LSP y E-LSP

Los E-LSP y L-LSP son tratados de forma igual que un LSP común porque ellos no definen ningún nuevo protocolo de etiquetas o modifican el algoritmo de conmutación de paquetes definidos por la arquitectura de MPLS. Ellos son solo LSP con un mecanismo de mapeo de QoS utilizando la información del campo DSCP de DiffServ. La decisión de utilizar una de las dos opciones de LSP con mapeo de calidad de servicio depende del tipo de clases de servicio ofrecidos por la red y por la infraestructura de enrutamiento y conmutación.

Por ejemplo, para redes que utilicen conmutadores ATM con capacidad de etiquetamiento MPLS solo es válida la opción de implementar caminos conmutados de etiqueta de la forma L-LSP debido a que el mapeo de QoS se realiza utilizando el campo VPI/VCI (ver Figura.3-7) de la cabecera de celda ATM y por lo tanto es imposible utilizar el campo EXP de la etiqueta MPLS.

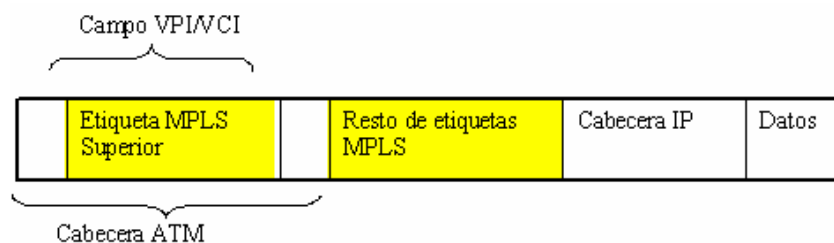


Figura.3- 7. Ubicación de la etiqueta MPLS dentro de una celda ATM

Para redes que implementen menos de cuatro CoS es suficiente con implementar LSP con mapeo de QoS desde el campo experimental de la etiqueta o E-LSP

3.5.4. Proceso para mapear PHB's al campo EXP del E-LSP y L-LSP

Todo PHB es mapeado a un E-LSP y L-LSP de acuerdo a las políticas establecidas por el administrador de red, asociadas a los SLA establecidos con el cliente. Para estos se establecen políticas de QoS que se deben definir o mantener en la red MPLS. La información encapsulada en el PHB de entrada contenida en la estructura Diffserv, es llevada (mapeada) al campo EXP de la etiqueta MPLS para así mantener la calidad de la aplicación que esta siendo transportada.



En el caso que la información que va a ser transportada por la red, no tenga definida de forma explícita políticas de QoS, el campo EXP del E-LSP y la etiqueta del L-LSP quedara configurado por defecto y seria tratado por el esquema Best Effort.

- El enrutador LSR, para capturar los requerimientos de QoS, realiza las siguientes funciones:
- Determina el PHB¹ del paquete que viene de la red para asociarlo al PHB de la red MPLS.
- Asocia el PHB que posee la aplicación, lo mapea al campo EXP del E-LSP y lo correlaciona (ILM Incoming Label Map – Correlación de la etiqueta entrante) con una etiqueta de la FIB. En la nube el paquete etiquetado, es tratado de acuerdo a las políticas de MPLS.
- Cuando el paquete llega al penúltimo salto, el campo EXP es mapeado PHB² original.

Para lograr una integración de la red IP/MPLS con otro tipo de redes y conservar la QoS. La arquitectura MPLS mapea en el campo EXP de su etiqueta los campos respectivos de QoS en redes tales como ATM (CLP), Frame Relay (DE) y Ethernet (P). El proceso para la asociación del PHB es similar en estas redes³.

3.6. MANEJO DE ETIQUETAS Y TUNELES CON QoS EN MPLS

Para garantizar que los paquetes sean enviados y tratados de forma diferencial en la red WAN, es necesario que la red este en la capacidad de definir caminos dependientes del valor del campo EXP de la etiqueta MPLS. La creación de estos túneles optimiza la utilización de la red, asignando los recursos y la disponibilidad necesaria para garantizar la QoS ofrecida al enlace del cliente.

En algunos casos para poder administrar y cumplir con los requisitos de calidad de servicio se hace necesario poder conservar y utilizar la información de etiquetas que han sido colocados con anterioridad. Como se observa en la Figura.3-8 a un paquete se le han colocado una pila de etiquetas MPLS con un valor EXP=0, pero este paquete tiene en su nivel IP un perfil de QoS dado por el valor DSCP=24; la red tiene en este caso dos opciones para asignar el PHB al paquete, utilizar la información DiffServ o la información del campo EXP. Para lograr conservar este tipo de información de QoS el RFC 3270 permite la creación de diferentes túneles tema ampliado en la siguiente sección.

¹ Paquete que entra a la Red MPLS y el cual presenta políticas de Diffserv, definidas por los SLA establecidos con el cliente.

² Paquete que sale de la red MPLS el cual es entregado con las políticas QoS iniciales.

³ 3. *Detailed Operation of E-LSP*. RFC3270

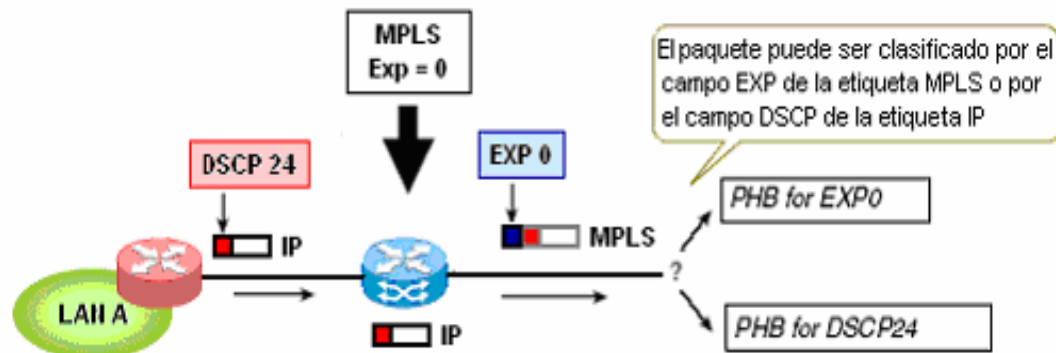


Figura.3- 8. Selección del PHB.

Proceso de selección del PHB del paquete con etiquetamiento MPLS

3.6.1. Túneles MPLS para soportar QoS

Dentro del RFC 3270 “MPLS support of Differentiated Services” se definieron los túneles como el mecanismo que permitía conservar la clasificación de servicio extremo a extremo utilizando la información tanto del campo EXP de la etiqueta MPLS o en su defecto de la información Diffserv en la cabecera del paquete IP. Estos túneles además de tener en cuenta la información de CoS de la etiqueta superior pueden tomar información de etiquetamiento anteriores. Se crean tres tipos de túneles cada uno con características y objetivos diferentes según las necesidades del proveedor de servicios y las necesidades de los clientes. Los túneles que están definidos en la RFC son:

3.6.2. Túnel modo uniforme

En este tipo de túnel cualquier cambio realizado al valor del campo EXP en la etiqueta exterior en una pila MPLS, afecta tanto a las nuevas etiquetas que se colocan por encima como a las que se extraen por debajo de la etiqueta en cuestión. La idea aquí es que tanto la red del proveedor como la red del cliente conforman un sólo dominio DiffServ, así que cualquier cambio realizado a los valores del campo EXP del paquete en tránsito debe ser aplicado a todas las etiquetas internas dentro de la WAN/MPLS, igual que al campo DSCP en la frontera WAN/LAN.

Se utilizaría modo uniforme si se quisiera que un cambio en el campo EXP en cualquier parte de la red afectara todos los paquetes como si se trata de una red IP tradicional,



dentro de un dominio MPLS. La cuestión de decidir qué PHB se aplica a la etiqueta es transparente porque siempre este PHB estará determinado por el valor EXP de la última etiqueta antes de salir de la red MPLS.

Cómo se observa en la **Figura.3-9** cuando un paquete con DSCP=40 ingresa a un tunel uniforme el cuál coloca la etiqueta exterior con EXP=0 al salir del túnel el paquete tendrá en su campo DSCP el valor del campo EXP de la etiqueta que fue aplicada al ingreso al tunel, o sea el DSCP=0.

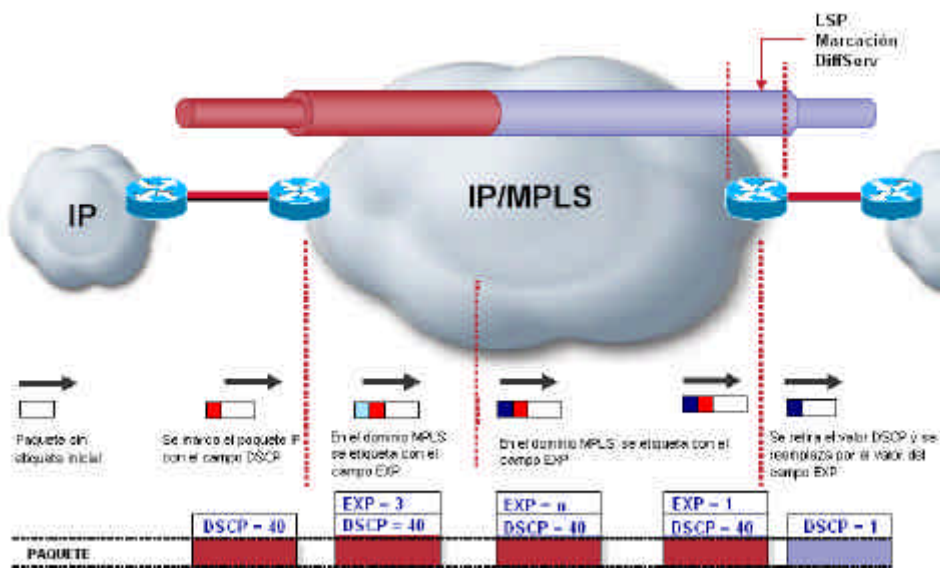


Figura.3- 9. Tuneleo en modo uniforme

3.6.3. Modo Short-Pipe

Este modelo de tuneleo es utilizado por los proveedores de servicio para implementar sus propias políticas de QoS de forma independiente de las políticas del cliente. Por lo tanto cuando un paquete IP con información de calidad (DSCP) es etiquetado en la red MPLS esta información se mapea a cada una de las etiquetas que se adicionen, y cualquier cambio en el perfil de QoS de la etiqueta a través del campo EXP, solo afecta a la información que atañe a la red MPLS. De esta forma se garantiza que el paquete a la salida de la red MPLS, sea asignado a la cola de servicio apropiada para el DSCP del paquete IP. En este caso cuando el paquete IP llega a la red del cliente llega con el mismo valor DSCP al ingreso de la red MPLS.

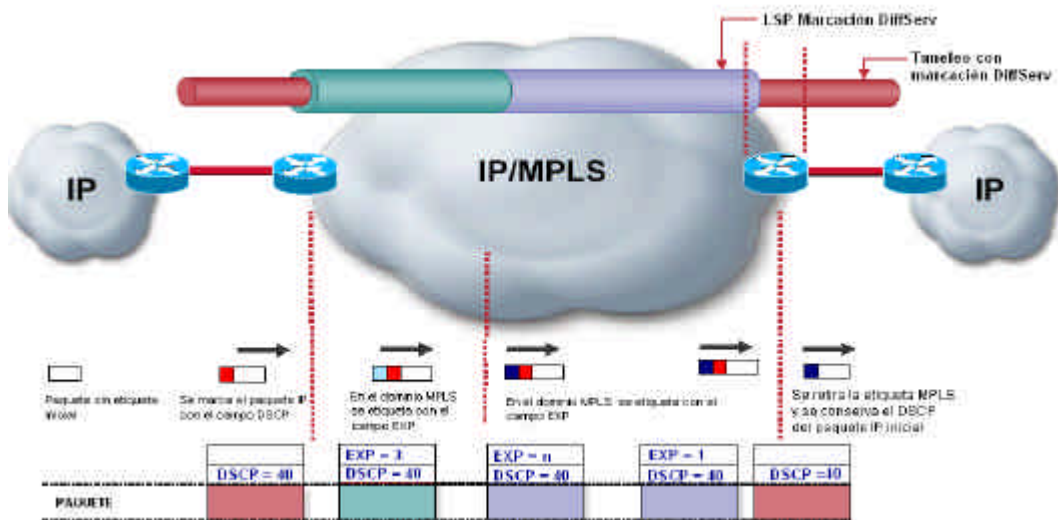


Figura.3- 10. Modelo de Túnel en Modo Short Pipe

Como se observa en la **Figura.3-10** la única diferencia entre este modo y el modo uniforme visto anteriormente es que cualquier cambio en el campo EXP de la pila de etiquetas sólo afecta los paquetes etiquetados. Lo que se logra en realidad es mantener el valor DSCP colocado por el cliente cuando sale de la red MPLS.

3.6.4. Modo Pipe

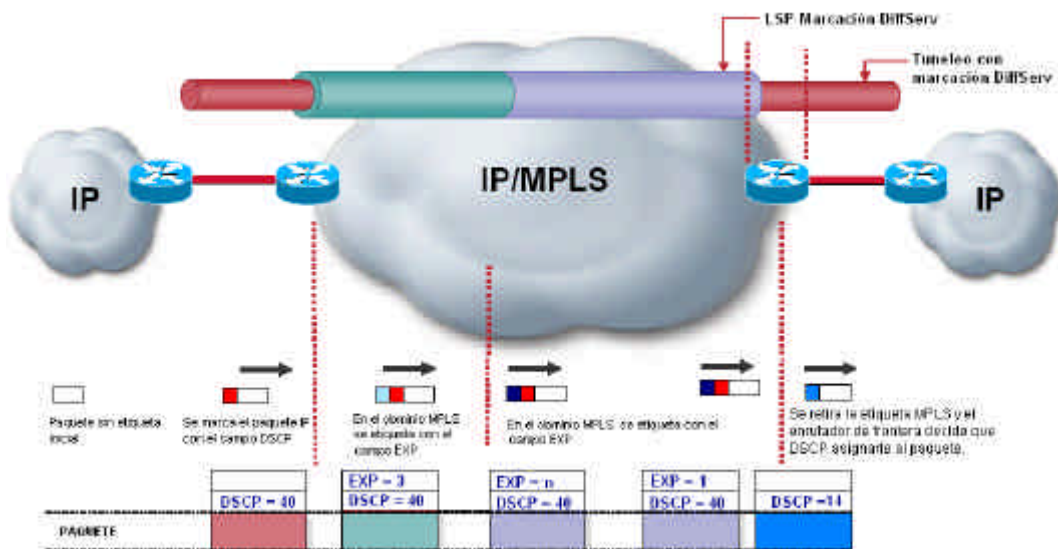


Figura.3- 11. Túnel en Modo Pipe



Este modo de tuneo es semejante al modo short pipe excepto que cuando el paquete sale de la red MPLS se decide que PHB asignarle, de acuerdo al valor del campo EXP de la última etiqueta, ignorando el valor DSCP que transporta el paquete. Este modo se utiliza para permitir que el proveedor de servicio pueda decidir el PHB de los paquetes cuándo salen de la red MPLS. En la **Figura.3-11** el proveedor es quien le coloca de nuevo el valor DSCP que el considere conveniente para el paquete.

3.7. MPLS COMO COMPLEMENTO DE DIFFSERV

MPLS adquiere mayor importancia dentro del backbone red del proveedor de servicio debido a que se involucra en las dos grandes variables a controlar dentro de estas redes como son: el *ancho de banda* y la *calidad de servicio*.

Para garantizar un servicio con QoS, las redes tanto LAN como WAN deben sufrir una serie de evoluciones. Partiendo de la red WAN (proveedor de servicios) la evolución involucra el despliegue de Diffserv para poder clasificar, marcar y tratar los paquetes de forma diferente según las políticas de QoS que desea el cliente y puede ofrecer el proveedor. El siguiente paso es involucrar las características de MPLS de Clase de Servicio para ampliar las posibilidades de ofrecer QoS extremo a extremo desde una red LAN (p.e la red Universidad del Cauca) pasando por la red WAN del proveedor hasta otro sitio del cliente independiente del protocolo de nivel de red.

MPLS QoS se convierte en una herramienta eficaz para conservar el mapeo e2e de la información de las redes IP, además permite mantener la escalabilidad cuando se implementa un modelo de red DiffServ. A traves de los LSP con mapeo de QoS se puede mantener de forma lineal la utilización de los recursos de red porque solo se requiere reservación de recursos dentro de la red MPLS y en las fronteras se despliega un servicio DiffServ para atender los requerimientos de los clientes.

MPLS-TE da posibilidades de evitar la congestión y responder a los fallos de red basados no solamente en la carga de tráfico que tengan los enlaces sino que puede realizar sus cálculos de rutas y optimización utilizando la información de QoS y de los PHB asignados a los LSP establecidos. Dada la complejidad de este tema, no es estudiado dentro del trabajo de grado.

Aunque la conjunción de DiffServ y MPLS no es la única forma de ofrecer QoS e TE (ATM también ofrece estas capacidades a través de sus Clases de tráfico y PVC de tráfico) la primera propuesta responde mejor frente a tráfico IP porque disminuye el sobre-



encabezamiento además se elimina la necesidad de tener dos tecnologías de equipos enrutadores y conmutadores ATM.

Dentro de la evolución de las redes de proveedores la decisión de implementar diferenciación de servicios y/o MPLS dependen de los servicios que se quieren prestar y de las necesidades de QoS, es indudable que el tráfico de mayor crecimiento es tráfico IP pero en la actualidad la fuente de ingresos de los proveedores sigue siendo el tráfico ATM y Frame Relay lo que lleva a pensar que el mercado para el despegue de esta evolución en nuestro país no esta maduro.

Además MPLS le da más opciones al proveedor de servicios para establecer caminos específicos de QoS superior, en donde estos caminos no se determinan solamente por el ancho de banda que tienen asignado sino que tiene involucrada la marcación de QoS de la frontera pudiendo manejarse dentro de los tres tipos de túneles que puede responder de forma dinámica para el cliente y de una manera escalable para el proveedor a los requisitos de retardo, jitter y problemas de congestión para un servicio.

Dentro de lo que se va a desarrollar en el siguiente capítulo se propone que la red de la Universidad del Cauca tenga en su frontera de red la capacidad de realizar diferenciación de servicios, manteniendo las calidades establecidas dentro de la LAN y que el proveedor tenga en su backbone de red MPLS la capacidad de mantener la clase de servicio del cliente y la de asignarlo al PHB adecuado.

CAPITULO V

QoS PARA LA RED DE DATOS DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA

Dentro de los objetivos iniciales de este trabajo de grado se propuso como tema de estudio la migración de la red de Campus de la Universidad del Cauca a una infraestructura capaz de soportar DiffServ sobre una red MPLS; esta solución además de estar sobredimensionada para las necesidades actuales de la red tiene el inconveniente de que para los proveedores de servicio en nuestro país, el despliegue de MPLS no involucra entornos de redes de campus porque no existen aplicaciones que ameriten QoS e Ingeniería de Tráfico extremo a extremo desde la red del cliente. Como se estudio a lo largo de los capítulos anteriores, la arquitectura DiffServ es la opción escogida por lo proveedores de servicio para desplegar QoS dentro de sus redes WAN, y dentro de las redes LAN es posible implementar una arquitectura DiffServ para brindar QoS, pero esta elección se realiza de acuerdo a las necesidades impuestas por las aplicaciones. En la red de Datos de la Universidad del Cauca no existe actualmente ni el tráfico ni la demanda de aplicaciones que justifiquen el despliegue de mecanismos robustos de QoS como Diffserv dentro de la LAN, sólo se requiere aceleradores de tráfico, como es el caso de 802.1p/q, para la marcación del campo ToS en los datagramas IP. Esta marcación es necesaria para las aplicaciones críticas (voz, video interactivo, emulación de circuitos, y videoconferencia) que a mediano plazo se desplegaran sobre la red, puesto que ya se cuentan con los dispositivos para su implementación, pero se requiere obviamente un manejo adecuado para el tráfico de estas aplicaciones.

Para la Universidad del Cauca, no es necesario implementar MPLS como solución hasta el usuario final, ya que llevar MPLS a entorno LAN es una solución muy costosa en cuanto a soluciones (Equipos), muy robusta y aún no se ha implementado en ningún entorno LAN en Colombia. Por ello el trabajo de este capítulo se centra en definir el esquema de adecuación que se tendrá que realizarse en la red de datos de Unicauca, para clasificar y adecuar el tráfico para ser entregado finalmente a la red MPLS-DiffServ del proveedor de servicios, ofreciendo un servicio de QoS e2e entre la red de la Universidad del Cauca y las demás redes de campus educativas, centros de investigación y cualquier tipo de red en Colombia.



La Universidad del Cauca, dentro del esquema actual de red dirige sus esfuerzos hacia el sobre-dimensionamiento de los recursos (enlaces y nodos), para satisfacer las necesidades internas propias de la red LAN. La razón principal para que se realice este sobre-dimensionamiento se debe principalmente a que el ancho de banda configurado en las conexiones internas puede incrementarse según las necesidades de la red, ya que es un criterio propio del administrador y no representa costos adicionales para la Universidad; por eso los usuarios internamente disponen de una cantidad suficiente de ancho de banda para sus aplicaciones. No obstante los usuarios perciben retardos superiores a los deseados cuando intentan acceder a los servicios de Internet o cuando acceden desde otras redes a los aplicativos de la universidad (página web, ftp, etc); estos cuellos de botella son generados en la salida hacia la red del proveedor, ya que la red no cuenta con mecanismos de control y gestión de dicho tráfico hacia redes externas. Este es el principal problema a resolver ya que no sólo involucra a la administración de la red sino también al proveedor de servicios con el cual se tenga contratada la interconexión externa. Este inconveniente se busca atacar con el despliegue de la Diferenciación de servicios dentro de la red de Campus de la universidad y desde la frontera de la red del proveedor de servicios con MPLS se podría mantener la QoS de las aplicaciones de la Universidad del Cauca hacia Internet.

En el modelo actual de servicios ofrecido por la red de datos Universidad del Cauca, dirigido a atender servicios internos de datos (correo electrónico, transferencia de archivos, FTP, Telnet, acceso a Base de Datos) no se requieren esquemas de QoS estrictos, pero con la evolución tecnología, el crecimiento de Internet, el crecimiento interno de la LAN y la implementación de servicios en tiempo real (voz, video bajo demanda, emulación de circuitos y videoconferencia) se hace necesario clasificar, marcar y priorizar el tráfico, dentro y fuera de la red. Dentro de la LAN se propone manejar esquemas de priorización tales como 802.1p/q y marcación del campo DSCP en la solución de frontera LAN/WAN; la red del proveedor empleará MPLS para manejar el tráfico generado por las aplicaciones de una forma mas óptima y evitando los problemas del enrutamiento IP tradicional.

El objetivo de este capítulo es definir un esquema de migración de la conexión de la Red de Datos de la Universidad del Cauca hasta el Proveedor de Servicios, de tal forma que se soporte QoS a través de la arquitectura de Diferenciación en el Servicio (DiffServ). La red LAN al contar con mecanismos de QoS (802.1p/q dentro de la red LAN y Marcación del campo DCSP en la frontera con el proveedor), tendría la posibilidad de diversificar el portafolio de servicios dentro del ámbito académico e investigativo, además de permitirle estar a la vanguardia para el soporte de nuevas aplicaciones y obtener una infraestructura adecuada para la migración paulatina hacia modelos de red como Qbone o la



implementación de IPv6, que también responden a las necesidades de QoS de la red y que le da valor agregado a la red de la Universidad.

4.1. RED DE LA UNICAUCA

En el año de 1991 al interior de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones (FIET) se creó el Grupo de Redes y Servicios Telemáticos, lo que favoreció el desarrollo de una serie de proyectos que llevaron a dotar inicialmente a la FIET de una infraestructura de equipos computacionales y software para la generación de una red de datos interna, que luego continuó con la búsqueda de la posibilidad de acceso a redes de datos externas y posteriormente a Internet.

En 1995 se presentó el Proyecto a Planeación Nacional y fue aprobado, con el propósito de conseguir recursos económicos para su implementación. Luego, en 1997 se unieron esfuerzos económicos y técnicos de la Administración Central de la Universidad del Cauca y su facultad de Ingeniería Electrónica respectivamente, consiguiendo la expansión de la Red de Datos a la mayoría de edificios de la Universidad: Santo Domingo, El Carmen, Educación, División de Sistemas, Ingenierías y Medicina. De 1998 al año 2000 continuó la expansión de la red de datos en Laboratorios, Hospital, Caja de Previsión y Servicios Generales. Y en el año 2001 se realizó la conexión de los edificios de Artes y Las Guacas a la Red de datos.

De esta manera, actualmente se cuenta con todo un soporte tecnológico, mediante un backbone en fibra óptica con más de 4 kilómetros de longitud y un sistema de cableado estructurado en cada uno de los edificios, que cubre a la Universidad con 1450 puntos activos y una red corporativa que permite interconexión entre las distintas sedes de la Universidad y el acceso a INTERNET a través de dos enlaces, uno con Telecom y otro con Orbitel-Emtel cada uno a 1024kbps.

4.1.1. Portafolio de servicios de la red de Datos de Unicauca

La Red de Datos tiene a su cargo la Administración y soporte de la infraestructura de la red de datos de la Universidad y los servicios de Internet. Actualmente se cuenta con todo un soporte tecnológico, mediante un backbone en fibra óptica con más de 4 kilómetros de longitud y un sistema de cableado estructurado en cada uno de los edificios, que cubre a la Universidad con 1450 puntos activos y una red corporativa que permite interconexión



entre las distintas sedes de la Universidad y el acceso a INTERNET a través de dos enlaces, uno con Telecom y otro con Orbitel-Emtel cada uno a 1024 kbps.

4.1.1.1. Servicios internos

La red de datos debe velar por el óptimo funcionamiento de la interconexión entre las redes internas de la Universidad y la red Internet. Dentro de los servicios internos que ofrece la red de datos se tiene:

Servicio de conectividad:

- Revisión y puesta a punto de puntos de conexiones de red.
- Soporte y asesoría en la instalación de nuevas redes de datos y nuevos servicios de red.
- Instalación de periféricos en red.
- Asesoría en el diseño y definición de requerimientos técnicos para infraestructuras de red de datos.

Servicio de Internet:

La red de datos tiene a su cargo la administración, implementación, mantenimiento de Servicios de Internet en la Universidad del Cauca. Por lo tanto es la encargada de atender, gestionar y dar solución a los diferentes requerimientos de usuarios en cuanto a:

- Publicar información en el sitio web.
- Asignar y mantener las cuentas de correo Electrónico.
- Administración y mantenimiento del sitio FTP de la Universidad.
- Administración, mantenimiento y gestión de Servidores: Web, DNS, Proxys, FTP.
- Administración del Servicio de Acceso Telefónico.

Servicio de Capacitación:

La red de datos de la Universidad ofrece dos tipos de capacitaciones:

- Capacitación interna, dirigida únicamente al personal que trabaja dentro de la red de datos.
- Capacitación externa, dirigida a todos los integrantes de la comunidad universitaria, estudiantes, profesores y administrativos.

Servicio de asesoría:



La Red de Datos esta en capacidad de prestar asesorías y servicios técnicos en redes a empresas y a la misma Universidad en lo relacionado con el diseño, instalación de cableado estructurado y de potencia, instalación de equipos de comunicaciones, diseño, instalación y configuración de software de redes y comunicaciones, administración de redes, etc.

4.1.1.2. Servicios Externos

La Red de datos en aprovechamiento de su estructura organizacional, recursos técnicos, experiencia, y solidez ha abierto algunos de sus servicios a las personas o entidades externas a la comunidad universitaria. Entre estos servicios se tienen:

- Administración de Redes
- Capacitación
- Asesorías
- Préstamo de Salas de Navegación
- Certificación de Puntos de Red
- Préstamo de Salas de Navegación

La Universidad del Cauca cuenta en sus facultades con salas de cómputo que permiten a los miembros de la misma trabajar y conectarse a Internet con facilidad. Mediante la gestión de la Red de Datos es posible que entidades no relacionadas con la Universidad puedan utilizar las salas de cómputo para capacitaciones u otro tipo de eventos que ellos deseen realizar.

4.1.2. Infraestructura de Red

La Red de Datos de la Universidad del Cauca tiene una estructura física la cual se basa en un campus universitario dividido por sectores, sector de ingenierías, sector de medicina, sector de educación, sector del Carmen, sector de Santo Domingo y sector de la Vicerrectoría de Investigaciones; en cada sector se encuentran uno o más edificios, los cuales se conectan entre sí por un backbone de fibra óptica multimodo, el cual posee físicamente una topología de doble estrella, que tienen como centro de esas estrellas los edificios del Instituto de Posgrados (IPET) y El Carmen. El acceso WAN, o acceso a Internet se realiza a través de dos enlaces a 1024Kbps por Modems HDSL conectados a los proveedores de Internet: Telecom y Orbitel.



La infraestructura física dentro de cada sector del campus universitario y específicamente dentro de cada edificio posee un cableado estructurado certificado utilizando par trenzado no-apantallado (UTP - Unshielded Twisted Pair) categoría 5, teniendo por lo menos un centro de cableado (o rack) en cada edificio y sus respectivos puntos de red que se extienden hasta los puestos de trabajo dentro de ese edificio.

En grandes edificios donde las limitaciones de distancia del cableado estructurado no permiten que un sólo centro de cableado recoja todos los puntos de red, se tienen entonces centros de cableado secundarios que recogen aquellos puntos de red y que se conectan al centro de cableado principal a través de un número de cables UTP, número determinado por el tamaño en puntos de red de los centros de cableado secundarios.

4.1.2.1. Topología de la Red de Datos de Unicauca

La red Unicauca esta basada en la tecnología Fast Ethernet (Ver **Figura 4-1 y 4-2**) y utiliza concentradores y conmutadores para agrupar el flujo de información de equipos/PC's ubicados en un área geográfica cercana por medio de cable UTP categoría 5; en muchas zonas los concentradores de menor tráfico se encuentran en cascada hacia otros concentradores utilizando el mismo tipo de cable, en algunos casos especiales debido a las distancias manejadas se hace uso de fibra óptica y trancivers (convertidores de medio físico). Los concentradores de mayor tráfico son conectados a conmutadores que permiten la segmentación del ancho de banda garantizando un valor fijo a cada uno de sus puertos; la fibra óptica y UTP son los medios utilizados para conectar los concentradores a los conmutadores y a los conmutadores entre si. Existe un dispositivo de gran importancia para el funcionamiento de la red interna Unicauca por ser el nodo central de su topología, se trata del conmutador Accelar 1200; es un dispositivo de nivel 3 y es el puente entre todas las dependencias de la Universidad y la salida al ISP.

En algunos casos se tiene que utilizar líneas telefónicas para adicionar dependencias que están muy lejanas o en donde el cableado estructurado es muy difícil de implementar. Para ello se utiliza la tecnología HDSL que nos permite contar con un gran ancho de banda sobre las líneas telefónicas convencionales. Para el acceso domiciliario de los integrantes de la comunidad Universitaria se cuenta con un Servidor de Acceso Remoto (RAS); esto le permite a la Universidad actuar como un ISP exclusivamente para las personas vinculadas a la Universidad.

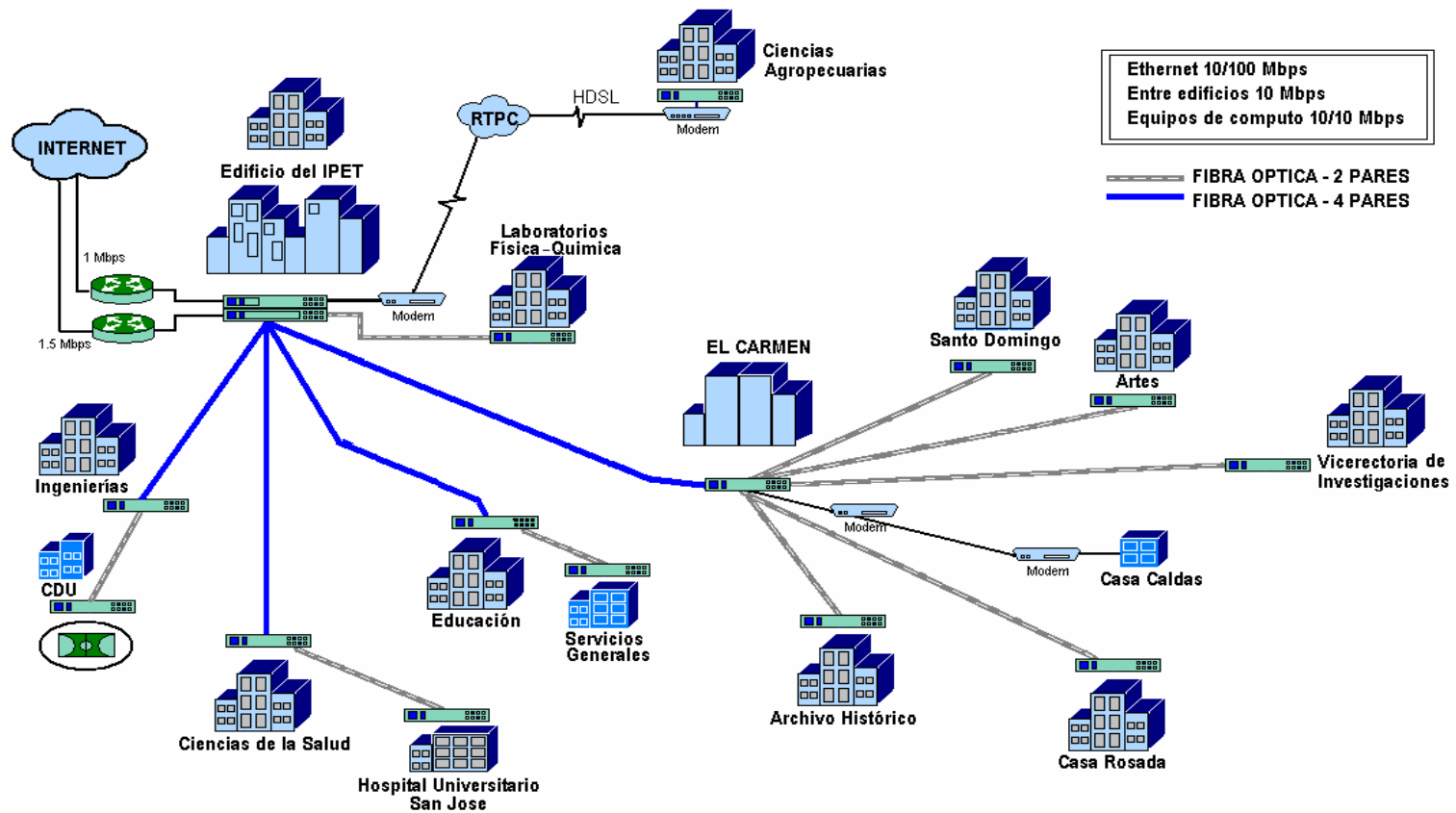


Figura.4-1 Topología de la Red de Datos de la Universidad del Cauca.

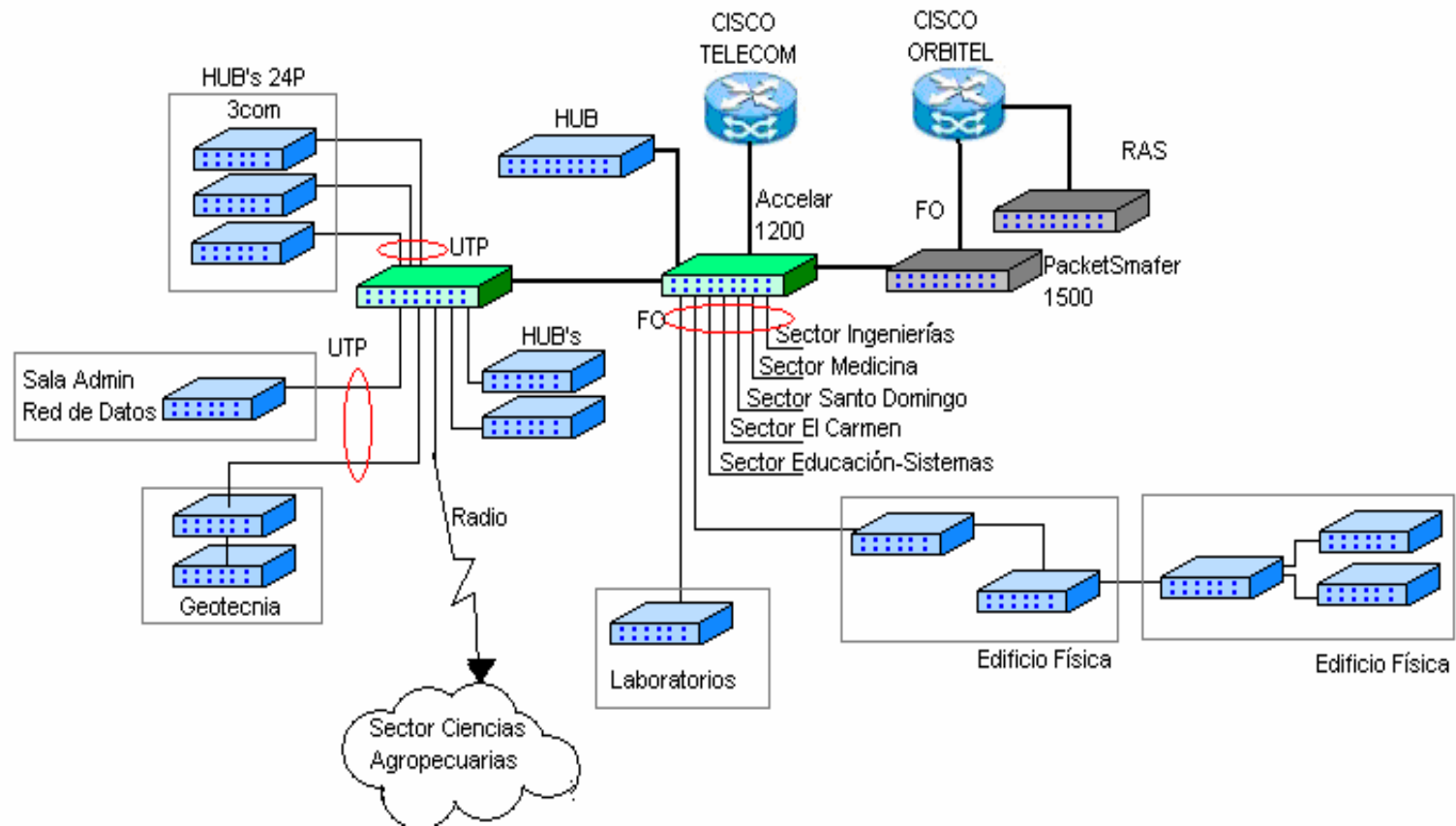


Figura.4-2 Instituto de Postgrados de Electrónica y Telecomunicaciones



Por último existen dos enrutadores que proveen la conexión hacia Internet a través de los proveedores Telecom y ETB con un ancho de banda disponible de 2Mbps y 2Mbps, con ampliaciones futuras de 4 Mbps con cada proveedor.

En el sector IPET se encuentra el centro de cableado principal (CC 5), donde el conmutador Accelar 1200 recoge todos los flujos provenientes de todos los sectores mencionados anteriormente. Este conmutador se conecta a los dos enrutadores que proveen acceso a Internet. Para la conexión con el enrutador de ETB se utiliza un dispositivo Packetshaper 1500 que gestiona ancho de banda y tráfico para equilibrar la carga entre los dos enrutadores. El Servidor de Acceso Remoto va conectado directamente al Cisco 3600 con cable UTP. Los servidores como el DNS, el servidor de correo electrónico, el servidor web, proxy y demás van conectados directamente al conmutador Accelar. El módem HDSL que está ubicado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias tiene su par en el CC5 del IPET y va conectado al conmutador 3Com 3300XM. Es de anotar que próximamente, la red contará con los routers cisco 3750, con los cuales se tendrá la posibilidad de implementar políticas de QoS.

Para ofrecer una solución MPLS/QoS, desde y hasta el conmutador de frontera LAN/WAN de la red de la Universidad el Cauca, se deben tener en cuenta las siguientes premisas:

- Definir el backbone MPLS y la QoS hasta el LSR más cercano a la ciudad de Popayán.
- Del sitio de concentración (Santa Clara) al punto la Universidad se consideraran tecnologías de acceso vía fibra óptica, cobre y radio

4.1.2.2. Conectividad Internet

El acceso a Internet se realiza a través de enlaces con los operadores locales Telecom, Orbitel. El servicio de Acceso conmutado se presta por medio de las líneas telefónicas de la empresa Emtel.

- **Enlace con Colombia Telecomunicaciones:** Ancho de Banda de 1024 Kbps, Relación de re-uso 1:1, Pasa por la Red Nacional de Enrutadores de Telecom, Conexión al Backbone de Internet a través del Cable Submarino Maya. Nivel Físico en HDSL sobre un recorrido de aprox. 1750 m
- **Enlace con Orbitel-Emtel:** Ancho de Banda de 4096 kbps, Relación de re-us 1:1, Conexión al Backbone de Internet a través de Cable Submarin Maya. Nivel Físico en ATM sobre un recorrido aprox. de 1950 m



- **Acceso Telefónico:** Conexión de un Canal PRI con soporte par 30 Usuarios Analógicos V.90 (56K de bajada) o Digitales en BRI d RDSI para configuraciones 1B = 64 K y 2B = 128 K

NOMBRE	DESCRIPCION
Colombia Telecomunicaciones	Ancho de Banda de 2048 Kbps Relación de re-uso 1:1 Pasa por la Red Nacional de Enrutadores de Telecom. Conexión al Backbone de Internet a través del Cable Submarino Maya. Nivel Físico en HDSL sobre un recorrido de aprox. 1750 m.
Orbitel	Ancho de Banda de 2 * 4096 kbps Relación de re-uso 1:1
Acceso Telefónico	Conexión de un Canal PRI con soporte para 30 Usuarios Analógicos V.90 (56K de bajada) o Digitales en BRI de RDSI para configuraciones 1B = 64 K y 2B = 128 K

Tabla.4- 1. Conectividad Internet

4.1.2.3. Configuración de la Intranet en la Universidad del Cauca

- La Red de Datos de la Universidad del Cauca está distribuida a través de varios edificios que se interconectan a través de FO (Fibra Óptica) o de cable UTP.
- Al día de hoy, existen 1750 computadores entre estaciones de trabajo, servidores y portátiles.
- Los computadores de la Intranet (red interna en Unicauca) usan UNICA Y exclusivamente el protocolo TCP/IP, el cual les permite:
 - Usar el entorno de red de Microsoft (compartir archivos e impresoras).
 - Navegar en el portal de la Universidad y en Internet.
 - Conectarse usando diferentes aplicaciones a otros computadores de la Intranet.
- No se debe instalar otros protocolos en los computadores de la Universidad, como por ejemplo NetBEUI o IPX/SPX, puesto que elevan el tráfico a través de la red ocasionando congestión y lentitud para todos los usuarios.
- Las configuraciones de red sólo pueden ser cambiadas respetando los parámetros establecidos.

4.1.2.4. Configuración TCP/IP para los equipos de la Universidad del Cauca

Direcciones de Intranet

- Dirección de la red: 172.16.0.0/16.
- Rango de direcciones IP de Intranet: 172.16.0.1 - 172.16.255.253 (estas direcciones son asignadas por el área de Infraestructura).
- Máscara de direcciones de Intranet: 255.255.0.0.
- Puerta de enlace de la Intranet: 172.16.255.254.



- DNS primario de la Intranet: 172.16.255.200.
- DNS secundario de la Intranet: 172.16.255.183.
- WINS primario de la Intranet: 172.16.255.200.
- WINS secundario de la Intranet: 172.16.255.183.

Direcciones reales de Telecom - primera red

- Dirección de la Red: 200.21.83.64/26.
- Rango de direcciones IP: 200.21.83.65 - 200.21.83.125 (estas direcciones son asignadas por el área de Servicios de Internet).
- Máscara: 255.255.255.192.
- Puerta de enlace: 200.21.83.126.
- DNS primario: 172.16.255.200.
- DNS secundario: 172.16.255.183.
- WINS primario: 172.16.255.200.
- WINS secundario: 172.16.255.183.

Direcciones reales de Telecom - segunda red

- Dirección de la Red: 200.21.83.128/26.
- Rango de direcciones IP: 200.21.83.129 - 200.21.83.189 (estas direcciones son asignadas por el área de Servicios de Internet).
- Máscara: 255.255.255.192.
- Puerta de enlace: 200.21.83.190.
- DNS primario: 172.16.255.200.
- DNS secundario: 172.16.255.183.
- WINS primario: 172.16.255.200.
- WINS secundario: 172.16.255.183

Direcciones reales de Orbitel

- Dirección de la Red: 201.245.164.0/24
- Rango de direcciones IP: 201.245.164.1 - 201.245.164.253 (estas direcciones son asignadas por el área de Servicios de Internet)
- Máscara: 255.255.255.0
- Puerta de enlace: 201.245.164.254
- DNS primario: 172.16.255.200
- DNS secundario: 172.16.255.183
- WINS primario: 172.16.255.200
- WINS secundario: 172.16.255.183



Identificando cada los enlaces de salida de la red de datos de la Universidad del Cauca hacia el proveedor de servicio, se monitorear el tráfico cursado hacia y desde la red de datos e identificará el tráfico generado y las aplicaciones solicitadas por los usuarios. Este análisis permite identificar las tendencias de la red de datos y determinar cuales son los criterios de QoS que se deben implementar para soportar servicios en tiempo real y de misión crítica.

4.1.3. Modelo de evolución de la red de datos de Unicauca hacia servicios con QoS

Para las necesidades actuales de la red de datos de la Universidad del Cauca considerando las características de tráfico y los servicios que se proporcionan, no se hacen innecesario involucrar inmediatamente mecanismos robustos de calidad de servicio como DiffServ en la totalidad de la red de campus. Pero a mediano plazo se deben involucrar ciertas funcionalidades de QoS que permitan a la red responder adecuadamente a retos tecnológicos y socioeconómicos para la Universidad del Cauca, en este entorno debe:

- Analizar la topología, la infraestructura y el tráfico generado por las aplicaciones en la red de Datos de la Universidad del Cauca
- Definir que modelo de red se quiere mantener y/o hacia donde se quiere evolucionar.
- Identificar el tipo de aplicaciones que emplean el esquema Best Effort para del tratamiento del tráfico.
- Definir el esquema DiffServ para la red agregadora en tráfico de la redes de campus en la ciudad de Popayán.
- Determinar la prioridad de los servicios prestados en la red de datos de la Universidad del Cauca.
- Hacia la WAN determinar los parámetros de QoS a través de políticas de administración: que permitan controlar y verificar retardo, jítter y pérdida de paquetes y el SLA contratado.

Para la red de la Universidad del Cauca a mediano plazo es indispensable pensar en las herramientas de QoS, no solamente cuando se presente el fenómeno de la congestión, sino como una tarea sistemática para la optimización del ancho de banda y aumentar el rendimiento de las diferentes aplicaciones. Esto es necesario porque las aplicaciones de misión-crítica requieren estrictos requerimientos de servicio; estos requisitos superan los brindados por la red IP convencional. Si no se le dan a estos servicios los recursos y el

tratamiento diferenciado necesarios, la calidad de estas aplicaciones se degradaría rápidamente al punto de ser inútiles.

La calidad de la comunicación en las redes de Datos es la determinada por los factores siguientes, entre otros:

- **Pérdida de Paquetes:** Es una medida comparativa entre los paquetes recibidos y el número total de paquetes transmitidos. La pérdida se expresa como el porcentaje de paquetes que se pierden en la transmisión.
- **Retardo (o latencia):** Es la cantidad de tiempo que le toma a un paquete alcanzar el receptor después de ser transmitido por el origen. Este parámetro es un parámetro crítico y tiene un impacto significativo en la QoS para las aplicaciones en tiempo real
- **Variación del retardo (jitter):** Es la diferencia en el retardo e2e entre paquetes consecutivos, p.e. si un paquete requiere 100 ms para cruzar la red e2e y el paquete tardó 125 ms hacer este viaje, entonces la variación de retraso es calculada como 25 ms.

Hay muchos puntos en la red donde se requiere que estos factores se mantengan dentro de unos rangos específicos, en la **Figura 4-3** se ilustran las áreas dónde se deben controlar la pérdida de paquetes, la latencia y el jitter:

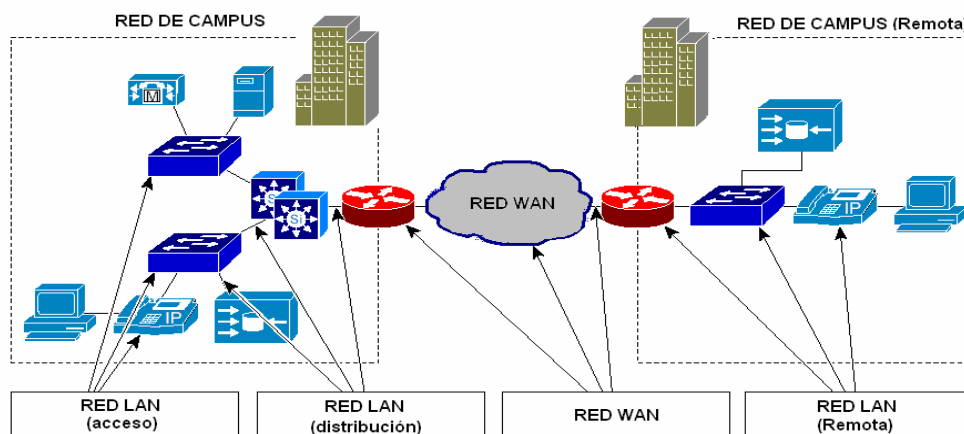


Figura.4-3 Áreas donde se necesita habilitar QoS.



4.2. REQUISITOS SUGERIDOS PARA LA RED DE UNICAUCA Y ISP

Dada la coyuntura actual de la red de Datos de la Universidad del Cauca, y la creciente necesidad de diversificar y soportar nuevos servicios se presenta a continuación los requerimientos de la red para cada uno de ellos. En la siguiente sección se mostrarán los diferentes requerimientos de calidad de servicios de las aplicaciones a implementar en la red de datos de la universidad del Cauca. Estos requerimientos cobran vigencia cuando los mecanismos implementados de QoS deben entrar a darle un trato diferenciado al tráfico preferente y cumplir con los acuerdos de servicio establecidos.

La definición correcta de estos parámetros de pérdida de paquetes, retardo, jitter, entre otros, permite a la red de datos de la Universidad del Cauca desplegar sobre esta infraestructura una gama de servicios tanto a nivel interno como externo. A continuación se definen cada uno de los requerimientos específicos que se deben implementar en los elementos de red de la infraestructura de la universidad del Cauca y de la red del proveedor de servicios para ofrecer QoS e2e; según las aplicaciones que la Universidad del Cauca implementará a medio plazo (ver tabla 4-2).

Tabla.4- 2. Portafolio de servicios de la red de Datos al aplicar métricas de QoS

	SERVICIOS RED DE DATOS (Actual)	SERVICIOS RED DE DATOS (con aplicación de QoS)
Internos	Servicios de Conectividad	Servicios de Conectividad
	Servicios de Internet: • Web, e-mail, FTP, DNS, Proxys, Telnet	Servicios de Internet • Web, e-mail, FTP, DNS, Proxys, Telnet • Videoconferencia, Voz IP
	Servicios de Capacitación	Servicios de LAN • Capacitación virtual (videoconferencia, video almacenado)
	Servicio de administración de Redes	Servicio de administración de Redes
	Servicio de Salas de Navegación	Servicio de Salas de Navegación
	Servicio de certificación de Puntos de Red	Servicio de certificación de Puntos de Red
Externos	Servicio de Asesorías	Servicio de Asesorías • Asesoría virtual (videoconferencia, video almacenado)
	Servicios de Capacitación	Servicios de Capacitación • Capacitación virtual (videoconferencia, video almacenado)
		• Telemedicina, Teleducación, Educación virtual • Trabajo colaborativo descentralizado • Web, e-mail, FTP, DNS, Proxys, Telnet

Dentro de los servicios que se reforzaran al aplicar mecanismos de QoS se tienen:

- **Servicio de Internet:** El acceso dedicado a Internet busca brindarle al usuario alta velocidad en su conexión a Internet para el soporte de sus aplicaciones.



- **Extensión de LAN:** La Universidad del Cauca puede contar con múltiples redes LAN en el área metropolitana que pueden interconectarse entre sí a altas velocidades como si fuese la misma LAN.
- **Intranet / Extranet Nivel 2 VNP:** Una red con QoS e2e puede ser una buena alternativa para conectar la Intranet con sitios remotos o conexiones Extranet. p.e. para enlazar usuarios distantes.

4.2.1. Clases de servicio C_oS

El esquema de evolución de la red de datos de Unicauca, involucra varios esquemas de QoS para ofrecer servicios diferenciados al usuario. Este esfuerzo por brindar diferentes parámetros de tráfico garantiza diferentes niveles de desempeño, como retardos, jitter y paquetes perdidos. Para la red que debe soportar múltiples clases de servicio entre usuarios y entre redes, el tráfico y los parámetros de desempeño debe ser los especificados para cada clase de servicio.

Todo el tráfico que ingresa o sale de un puerto recibe la misma clase de servicio. Si el usuario requiere múltiples clases de servicio para sus tráficos, se separan tantos puertos físicos como sean requeridos, cada uno con su clase de servicio.

Dentro de la red LAN se empleada como marcador de clases de servicio, el estándar 802.1p para etiquetar los paquetes, con la posibilidad de marcar hasta 8 clases de servicio. EL administrador de la red especificara el ancho de banda y los parámetros de desempeño, con los criterios que se especificaran en la sección siguiente.

Se empleará DiffServ para definir en el PHB la calidad de servicio a nivel 3, esta diferenciación es mucho mas robusta comparada con IP ToS y 802.1p, puesto que DiffSErv provee 64 diferentes valores para determinar las clases de servicio.

4.2.2. Parámetros ha habilitar en cada segmento de la red LAN y WAN

En la Figura.4-4 se observa que para garantizar QoS en cada uno de los bloques de una red, se requiere que los elementos de interconexión de cada segmento establezcan unos criterios básicos, a continuación se definen para cada uno los criterios que se deben implementar en los equipos de red de cada uno de los sectores de la Universidad del Cauca.

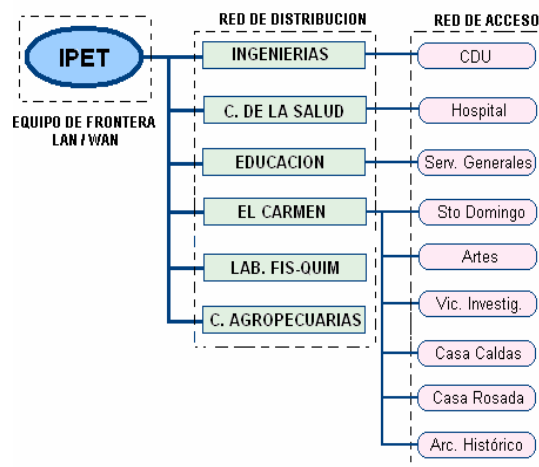


Figura.4-4 División de la red de la Universidad del Cauca.

4.2.2.1. Red de acceso y distribución de la red LAN

El Administrador de la red debe establecer los siguientes criterios en los equipos de acceso:

- Establecer los valores mínimos de pérdida de paquetes, latencia, jítter y ancho de banda para cada uno de los servicios, definidos en los estándares ITU G.711, G.729 A, UIT Y.1540 y UIT Y.1541 (Ver anexo B. Aplicaciones Multimedia)
- Realizar la marcación de paquetes del nivel 2 con 802.1p, desde los terminales del cliente o en los conmutadores.

Para la red de distribución se deben considerar los siguientes criterios:

- Clasificar los paquetes según los requerimientos para cada servicio a nivel 2.
- Definir las CoS teniendo en cuenta las métricas de encolamiento.
- Definir colas múltiples y fijar el nivel de prioridad de cada una de ellas.

4.2.2.2. Equipo de frontera de la red LAN/WAN

El administrador de la red debe establecer los siguientes criterios en el equipo de frontera:

- Establecer los valores límites necesarios para los servicios, considerando las etiquetas DSCP o CoS definidas en la red de acceso y distribución.
- Clasificar y marcar los paquetes del nivel 2 (802.1p) a nivel 3 (DSCP).
- Clasificar y marcar los paquetes del nivel 3 (DSCP) a nivel 2 (802.1p).
- Clasificar los paquetes según los requerimientos para cada servicio a nivel 2 y a nivel 3.



- Definir las CoS o DSCP teniendo en cuenta las métricas de encolamiento.
- Definir colas múltiples y fijar el nivel de prioridad de cada una de ellas.

4.2.2.3. Enrutadores (Red WAN)

Dentro de los criterios que debe realizar la red del proveedor, están los siguientes:

- Conformación de colas de espera con baja latencia.
- Aprovisionamiento de la cola de tráfico de datos.
- Enlace de fragmentación.
- Conformación de tráfico (Traffic shaping).
- Control de admisión.

4.2.3. SLA sugeridos para la red de datos de la Unicauca

Los Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA) que el administrador de la red de datos de la Universidad del Cauca, actualmente solicita al proveedor de servicio, simplemente se basan en definir el parámetro de disponibilidad de la red del ISP.

Un SLA debe contener, entre otros parámetros, los siguientes:

- Tipo, naturaleza y objetivos del nivel de servicio, para cada uno de los servicios soportados por la red LAN.
- El nivel de desempeño esperado: confiabilidad, disponibilidad y capacidad de respuesta frente a fallos, problemas de congestión, etc.
- Monitoreo y Reporte de problemas.
- Tiempos de respuesta para la solución de problemas.
- Umbrales, en cuanto a parámetros tales como pérdida de paquetes, jitter, retardo, latencia, etc.
- Sanciones, aspectos legales, etc.

La relación entre el cliente y el proveedor, establecida en el SLA debe contener otros parámetros, en esta sección se delimitaran algunos de ellos básicamente los que tienen relación con la Calidad de servicio.

4.2.3.1. Requisitos de QoS para servicios de voz

Para implementar servicios de voz, el SLA exigido al proveedor de servicio debe contener las siguientes características:

- Pérdida de paquetes inferior al 1% del total de paquetes enviados.



- Latencia (en un sentido de la transmisión debe estar) entre los 150 – 200 ms.
- El jitter promedio no debe superar los 30 ms.
- Se debe garantizar de 21-106 kbps de ancho de banda para soportar cada llamada (dependiendo del codificador utilizado y la cabecera 2).
- Se requiere 150 bps (+ Capa 2) de ancho de banda por llamada para el control del tráfico de voz.

La calidad de voz está directamente afectada por los tres factores de QoS: la pérdida de paquetes causa recorte de la voz y saltos, la latencia puede causar la degradación de la calidad de voz si el tiempo empleado para su transmisión supera los 200 ms y el incremento del jitter implica aumento de buffers para mantener el retardo constante entre paquetes consecutivos.

El ancho de banda consumido por los flujos de VoIP es calculado multiplicando a la carga útil del paquete todas las cabeceras (en bits), y el tiempo empleado por cada de ellos (por defecto son 50 paquetes por segundo). En la Tabla.4-3 se detallan los anchos de banda para el servicio VoIP.

Tabla.4- 3. Ancho de banda del servicio de voz (sin la cabecera de la Capa 2)

RECOMENDACIÓN	RANGO SUGERIDO	PARTE ÚTIL DEL PAQUETE DE VOZ	PAQUETES POR SEGUNDO	BA POR CONVERSACIÓN
G.711	20 ms	160	50	80 kbps
G.711	30 ms	240	33	74 kbps
G.729 A	20 ms	20	50	24 kbps
G.729 A	30 ms	30	33	19 kbps

Tabla.4- 4. Ancho de banda para la voz (con la cabecera de la Capa 2)

RECOMENDACION	802.1 p
G.711 a 50 pps	93 Kbps
G.711 a 33 pps	83 Kbps
G.729 A a 50 pps	37 Kbps
G.729 A a 33 pps	27 Kbps

Un método más exacto para suministrar VoIP es contener la Capa 2 (ver Tabla.4-4) que incluye sobre la cabeza: los preámbulos, banderas, control de errores y el relleno. La cantidad depende de la tecnología que se este usando; como la red de la Universidad es una red Ethernet (se empleará 802.1p) lo que agrega 32 bytes de la capa 2 sobre la cabecera.

4.2.3.2. Requisitos de QoS para servicios de video

Para implementar servicios de video, el SLA exigido al proveedor de servicio debe contener las siguientes características:

- Pérdida de paquetes del 2% del total de paquetes enviados.
- Latencia entre 4-5 segundos (dependiendo de la capacidad del buffer de video).

Cuando se requiera servicios de video-conferencia, se deben tener los siguientes criterios de QoS:

- Pérdida de paquetes inferior a 1%.
- Latencia en el rango de 150-200 ms.
- Jitter en el rango de 30 ms.
- Ancho de banda reservado por sesión debe ser por lo menos el + 20% más de la capacidad total del servicio. (p.e. si se requiere 384 kbps para un servicio de video conferencia se requiere reservar 460 kbps).

Hay dos tipos principales de aplicaciones de video que pueden van a ser implementados en la red de datos de la Universidad, estos son: el flujo de video (video bajo demanda o multicast) y el video interactivo (video-conferencia).

- **El flujo de video (video almacenado):** estas aplicaciones requieren parámetros de QoS menos exigentes, ya que no es sensible al retardo ni al jitter. La distribución de un archivo de video es muy similar a tráfico de FTP.
- **Videoconferencia:** Este servicio tiene las mismas características de pérdida de paquetes, retardo y jitter como los servicios de voz, pero el modelo de tráfico del servicio de videoconferencia es sumamente diferente al de la voz. p.e, el tráfico de videoconferencia tiene paquetes variantes que se clasifican según tamaño y paquetes sumamente inconstantes (como el mostrado en Figura 4-5).

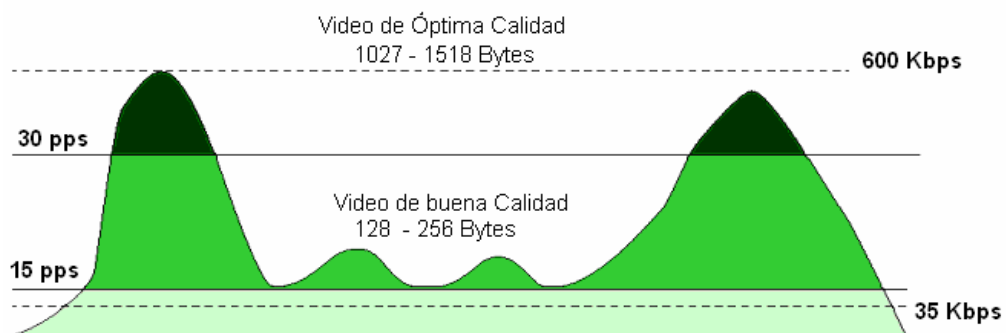


Figura.4-5 Requisitos de ancho de banda para sesión de 384 kbps



Debido a la naturaleza en ráfagas de la videoconferencia, el servicio tiene un único requisito: se debe aprovisionar por lo menos un 20% más del ancho de banda empleado por la aplicación.

4.2.3.3. Requisitos de QoS para servicios de datos

Las necesidades de QoS para tráfico de datos, debe tener en cuenta las siguientes características:

- El perfil de las aplicaciones soportadas por la red de la universidad del Cauca para conseguir una comprensión completa de los requisitos de la red y los modelos de tráfico de la misma.
- Usar el modelo de prioridad relativo para este servicio.
- Definir cuatro clases de tráfico para el servicio de datos, así:
 - Oro (Misión-Critica) - ERP, datos transaccionales, etc.
 - Plata (Garantizar-BA) - Flujo de video, mensajería, Intranet.
 - Bronce (Mejor esfuerzo Garantizado) - Internet, el Correo electrónico.
 - Inferior (Mejor esfuerzo) - FTP, P2P, aplicaciones (Napster, KaZaa).
- No asignar más de 3 aplicaciones a cada clase de tráfico priorizado con DiffServ.
- Usar mecanismos de aprovisionando proactivos frente a las políticas establecidas.

4.2.4. Requerimientos de QoS para el ISP

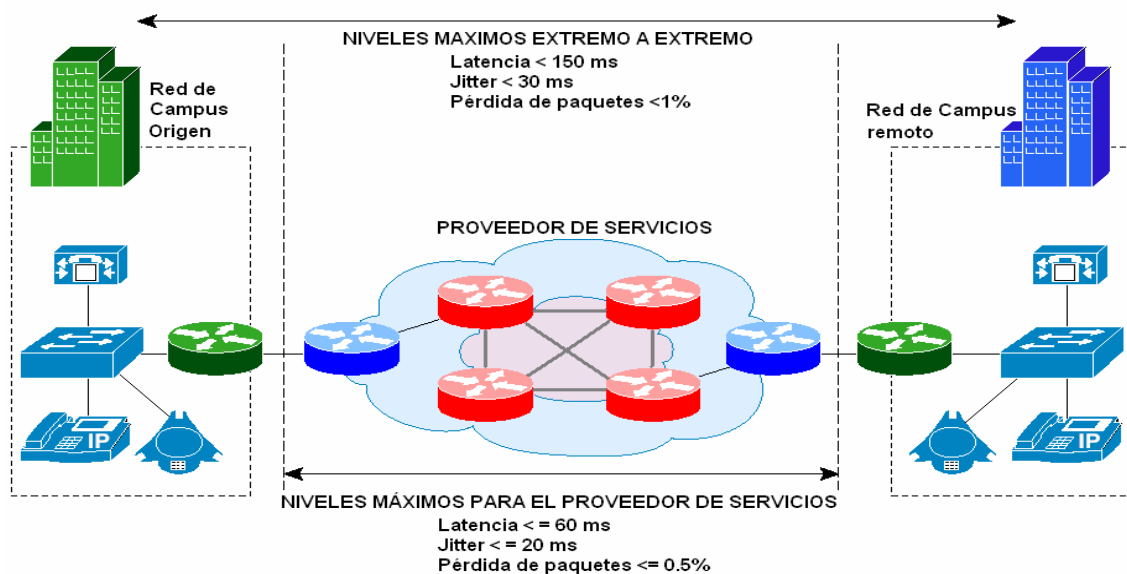


Figura.4-6 Requerimientos de QoS para el proveedor de servicio



Para lograr QoS e2e es esencial que el proveedor de servicio puede proporcionar los acuerdos servicio requeridos por la red de la Universidad del Cauca para las aplicaciones definidas anteriormente, p.e. los requisitos de QoS e2e para servicios de voz y video conferencia debe tener las siguientes características:

- Pérdida de paquetes inferior al 0.5%.
- Latencia borde a borde inferior a 60 ms.
- Jitter inferior al 20 ms.

4.3. DEFINICIÓN DE LA POLÍTICA DE QoS PARA LA RED DE UNICAUCA

Para involucrar mecanismos de QoS en la red de la Universidad del Cauca es necesario emplear los siguientes pasos:

- Definir el modelo de red se quiere mantener y el modelo de red hacia donde se quiere evolucionar, teniendo en cuenta los servicios implementados.
- Identificar el tipo de aplicaciones que emplean el esquema Best Effort para del tratamiento del tráfico y las aplicaciones que requieren tratamiento diferenciado y preferencial.
- Definir el esquema DiffServ para la red agregadora en tráfico de la redes de campus.
- Determinar la prioridad de los servicios prestados en la red de datos de la Universidad del Cauca.

La clasificación (o marcación) de tráfico en el borde de la red de la Universidad del Cauca (donde los recursos internos de procesamiento y escalabilidad de los servicios no son un problema) es un requisito que obliga a los dispositivos a lo largo de la red a reconocer los parámetros de pérdida de paquetes, retardo, y variación de retardo definidos para las aplicaciones y darles así un tratamiento apropiado.

La plataforma de la Universidad del Cauca tienen hoy en día la habilidad de marcar los paquetes con el campo CoS (a través de la implementación de 802.1q/p) o a través del campo DSCP o IP precedence cuando se requiera mayor granularidad que la ofrecida por 802.1q/p. A continuación se presentan los mecanismos propios a implementar en la red y la marcación DSCP o CoS recomendada para los servicios que soportaría la infraestructura de la red.



4.3.1. Mecanismos de QoS

Los mecanismos a implementar en la red de la Universidad del Cauca son los siguientes:

4.3.1.1. Clasificación, marcación y definición de PHB

Los criterios a considerar para desplegar DiffServ se enfocan en la clasificación y marcación del tráfico y la definición de los PHB.

- **CLASIFICACIÓN:** Para el tráfico de la LAN se hace indispensable tener mecanismos en los dispositivos de red capaces de determinar el tipo de aplicaciones que llegan a las interfaces de agregación dentro de la red. Lo que pretende esta clasificación es separar en dos grandes grupos los datos: dependientes e independientes del tiempo.
- **MARCACIÓN.** La marcación es necesaria cuando estos datos lleguen a los dispositivos de distribución y estos sean capaces de marcarlos en el nivel 3 en el campo DSCP. Con los equipos Cisco Catalyst 3750 se realiza la siguiente marcación: DSCP=100110 (Servicios en tiempo real), DSCP=010010 (Datos críticos) y DSCP=000000 (BE). Esta marcación involucra asignarlos a un PHB acordado entre la red de la universidad y el proveedor de servicio.
- **DEFINICIÓN DE LOS PHB.** Los PHB van a determinar el tipo de encolamiento y la probabilidad de descarte que se va a realizar en el conmutador de frontera de la red de la Universidad. Los PHB a definir son: AF₃₂ para Enrutamiento, señalización y aplicaciones interactivas; el AF₂₁ para Intercambio de datos y el AF₀ para BE. No se ha implementado del PHB EF, dado que la universidad a mediano plazo, no tendrá aplicaciones restrictivas frente al retardo y el jitter, con los PHB se garantiza aplicaciones multimedia y con requerimientos básicos de QoS.

El primer elemento para definir una política de QoS propia para la red de datos de la Universidad del Cauca, se basa en la identificación del tráfico como se vio anteriormente, y se define según los criterios del administrador. La clasificación se puede realizar examinando cualquiera de los siguientes parámetros:

- Parámetros de la etiqueta de capa 2 (802.1p, CoS, dirección MAC, EXP).
- Parámetros de la etiqueta de capa 3 (IP Precedente, DSCP, dirección origen/destino del paquete IP).
- Parámetros de la etiqueta de capa de 4 (TCP o UDP).



- Parámetros de la etiqueta de capa 7 (aplicación).

Tabla.4- 5. Clasificación de los servicios según los campos de las etiquetas PHB, DSCP y EXP

TRÁFICO	DSCP PHB	DSCP Decimal	IP Precedence	EXP
Voz	EF	46	5	5
Video	AF41	34	4	4
Control de voz	AF31	26	3	3
Datos - Oro				
Aplicación 1	AF21	18	2	2
Aplicación 2	AF22	20	2	2
Aplicación 3	AF23	22	2	2
Datos - Plata				
Aplicación 1	AF11	10	1	1
Aplicación 2	AF12	12	1	1
Aplicación 3	AF13	14	1	1
Datos - bronce	BE	0	0	0

La clasificación debe tener lugar en el equipo de borde de la red. Hay varios mecanismos que pueden usarse por marcar el tráfico, incluyendo:

- Clase de Servicio (CoS): los paquetes internos (red de acceso de la LAN de la Universidad), serán marcados usando la etiqueta de capa 2 Ethernet con el mecanismo 802.1p, definidas en cada uno de los terminales del usuario final.
- ToS y DSCP: El equipo de distribución de la red LAN se marcará mapeando el campo CoS, del paquete IP al campo ToS del paquete de IPv4 confirmando el campo DSCP para su envío a nivel 3.
- PHB: Se definirán 10 PHB para los servicios seleccionados para la red de la Universidad del Cauca.

4.3.1.2. Traffic Shaping.

Se utilizará en la red LAN para controlar el tráfico saliente hacia la WAN, logrando la optimización del recurso del ancho de banda alquilado y también garantizar la disponibilidad total del enlace frente a ráfagas de tráfico. Para ello se implementará **Token Bucket**, para obligar a la red a mantener la velocidad promedio de envío contratada con el proveedor. Cuando el dispositivo de frontera de la LAN recibe los paquetes debe analizar el PHB, si hay espacio en las colas FIFO y WFQ despacha los paquetes a cada cola sino los envía a la cola de conformación de tráfico, para ser enviados cuando estén



los recursos disponibles. Para el caso de la red de la Universidad del Cauca, **Traffic Policing** se deja para que sólo lo realice el proveedor de servicios, debido a que tiene que controlar el tráfico según los recursos disponibles que tiene en su red.

4.3.1.3. Control y administración de la congestión.

Para el control y la eliminación de la congestión en la red LAN los tipos de encolamiento a implementar serán:

- **FIFO** para el AF₀ (servicios BE). Para la eliminación de la congestión en esta cola se utilizará **Tail Drop**.
- **WFQ** para AF₃₂ y AF₂₁ (servicios críticos y en tiempo real). Para la eliminación de la congestión en esta cola se utilizará **WRED** con un límite mínimo del 70% de la capacidad total de la cola y el 100% para el límite máximo.

El peso asignado a los datos en esta cola serán determinados de la información del campo DSCP de cada paquete, para determinar el lugar de atención de los datos.

4.3.2. Control y tráfico de Voz.

Aunque la Universidad no piensa involucrar la VoIP dentro de los servicios ofrecidos a mediano plazo, es indiscutible que es éste el mercado con más crecimiento en las redes LAN y en el que los proveedores están invirtiendo mayor tecnología y desarrollo, por ende se considera indispensable definir los parámetros de QoS requeridos para este tipo de aplicación y no negarle la posibilidad a la Universidad de tener las herramientas para el despliegue en un futuro de este servicio.

La IETF recomienda marcar el tráfico de voz con el campo DSCP con PHB = EF para el tráfico de VoIP. Para permanecer compatible con el parámetro IP Precedence igual 5 se marcará el CoS también igual a 5. Esta marcación se usa como criterio de selección para entrar en la cola de prioridad existente en el dispositivo, o que se seleccione el peso más alto para este servicio en el esquema WRED.

Típicamente el control de los servicios de voz recaerá en el servidor de este tipo de aplicaciones, que tratará estos servicios con el protocolo de tiempo real RTP y marcará este tráfico con el DSCP más apropiado. Sin embargo, algunos dispositivos de frontera



no tienen la capacidad de clasificar correctamente este tráfico. La señalización para el tráfico de voz debe asignarse de forma explícita y rígida en el DSCP con un PHB con etiqueta AF31. Esta asignación es compatible con el segmento IP precedence de valor 3.

4.3.3. Video-conferencia

Para la Universidad del Cauca, el servicio de videoconferencia es el servicio que a corto plazo debe ser implementado debido al tipo de servicios de Teleeducación y Telemedicina en los que la Universidad está involucrada. Esta aplicación tiene requisitos de pérdidas de paquetes, retardo y variación del retardo similares a las exigencias de VoIP. Es necesario clasificar este tipo de tráfico para que los dispositivos de la red puedan reconocerlo y proporcionarle un tratamiento apropiado durante los períodos de congestión. En los dispositivos de la universidad, se deben marcar los paquetes con un DSCP con PHB igual a AF41. Esta asignación es compatible con el segmento IP precedence de valor 4. La capa de nivel 2 empleará una marcación con 802.1p dando un valor CoS de 4.

4.3.3.1. Flujo de video

Las aplicaciones de flujo de video o video almacenado (tema en el que la Universidad no cuenta ni con los recursos [p.e. servidor de video] ni con las necesidades) como el video bajo demanda (VoD), requieren relativamente grandes prestaciones en cuanto a la cantidad de ancho de banda y tienen una alta tolerancia frente a la pérdida, retardo, y variación de retardo. Se clasificará el nivel 2 con un CoS igual 1 (con 802.1p), el DSCP con una etiqueta igual a AF13. Esta asignación es compatible con el parámetro IP precedence con valor de 1.

4.3.3.2. Datos de misión-crítica

Para la clase de datos se divide en las siguientes subclases:

- **CLASE ORO.** Se marcará con los parámetros DSCP AF21-23, IP precedence 2, CoS 2;
- **CLASE PLATA:** Se marcará con los parámetros DSCP AF11-AF13, IP precedence 1, CoS 1.

Aunque existe una variedad de factores que determinan la importancia del tráfico de datos es difícil de considerar cuáles de ellos se apliquen a la red de la Universidad, por ello es



indispensable que el administrador de la red disponga según los requerimientos propios de cada área las prioridades de estos datos y clasificar aquellos de alta importancia con clase oro y aquellos que no son tan críticos con la clase plata.

4.3.4. Datos.

Todo el tráfico de datos que no este marcado con las prioridades antes vistas, será tratado con la categoría de Mejor Esfuerzo.

4.4. IMPLEMENTACIÓN DE QoS EN LA RED DE UNICAUCA

Para la implementación de QoS es necesario llevar a cabo un ordenamiento de la infraestructura de la red, ya que actualmente la red se encuentra demasiado desordenada, en cuanto a la utilización de concentradores puesto que para evitar pérdidas de paquetes y colisiones de los mismos se recomienda emplear como máximo 3 concentradores en cascada.

Luego del ordenamiento físico de los equipos, se requiere hacer efectiva la marcación y clasificación propuesta en la Tabla 4-5, para ello es indispensable que el administrador de la red en cada uno de los equipos de usuario, configure las prioridades de las aplicaciones. Esta marcación se llevará a cabo a través de la habilitación de 802.1p, mecanismo que viene anexado al sistema operativo o al software del aplicativo que se este empleando. Esta marcación también se puede llevar a cabo en los conmutadores de acceso, pero esta decisión sólo se llevará a cabo si los terminales de usuario no son capaces de hacer esta clasificación por si solos (con el fin de no saturar el procesamiento de los conmutadores).

Si la clasificación y marcación decide realizarse en los conmutadores de acceso, es necesario establecer los criterios para realizar este proceso. Los criterios son los siguientes: la dirección IP o MAC del equipo y el puerto de llegada. Esta configuración se debe realizar en cada uno de los conmutadores de acceso ubicados estratégicamente en las sedes de la red de la Universidad.

El enrutador o conmutador de nivel 3, ubicado en el IPET, es el dispositivo de frontera mas robusto de la red, ya que en el se descargan las funciones de mapeo de nivel 2 a 3.



Este dispositivo debe cambiarse ya que el que actualmente emplea la red de la Universidad no permite realizar el mapeo descrito en la sección 4.1.2.

4.4.1. Diseño de los puntos de presencia

Dentro de la topología de la red de la universidad del Cauca, se requieren reemplazar los equipos de acceso y distribución para que tengan la capacidad de realizar marcación 802.1p en las sedes de: el IPET (Equipo adicional par marcar el trafico procedente de las sedes de Ciencias Agropecuarias y los laboratorios de física y Química), El Carmen, Medicina e Ingenierías.

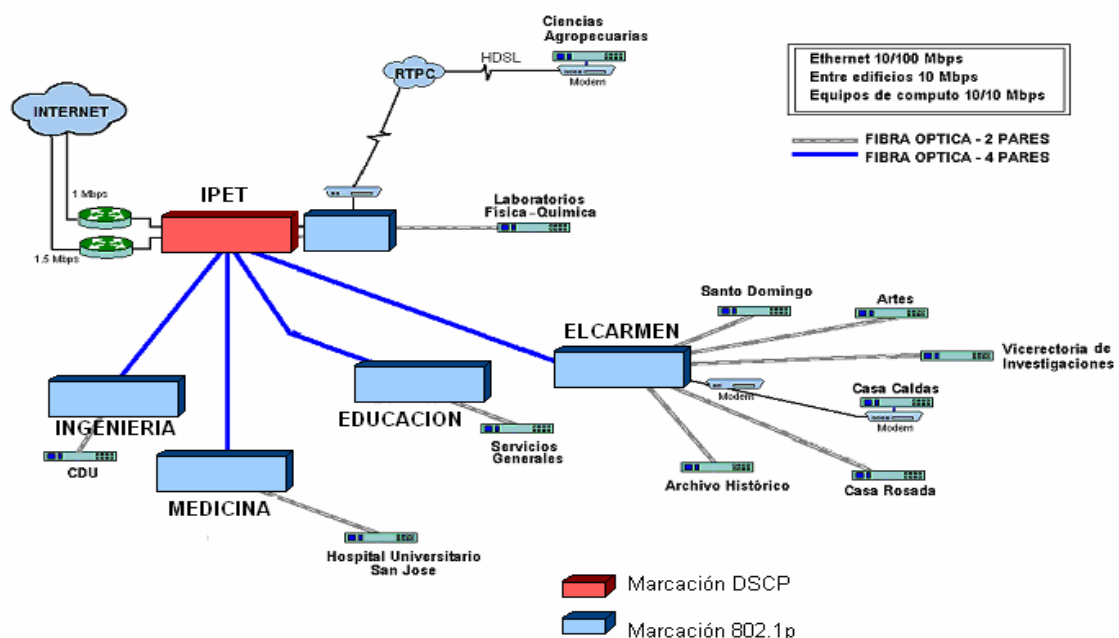


Figura.4-7 Nuevos puntos de presencia para la red de Datos

Como se observa en la figura 4-7, la topología de la red de datos no es modificada estructuralmente, puesto que el diseño actual para este tipo de red, cumple con los requerimientos de interconectividad necesarios para las diversas sedes. Pero teniendo en cuenta que los puntos de distribución serán dotados con conmutadores Cisco Catalyst 3750 se deben utilizar de manera adecuada todas las características de QoS de los que disponen además de clasificar y priorizar los datos se debe obtener el máximo rendimiento de distribución de trafico a través de VLAN que permitan el crecimiento de trafico dentro de la LAN



4.4.2. Estimación del tráfico en cada punto de presencia

Con el sistema de monitoreo de tráfico HP OpenView y Solarwinds Network es posible determinar el tráfico que se genera en un punto determinado de la red y así determinar el tráfico que la red de campus genera hacia y desde el proveedor de servicio de Internet. HP OpenView y Solares Network son un conjunto de herramientas que permiten conocer las fuerzas y debilidades dentro de la red a través de su monitoreo. Algunas de las características de HP OpenView y Solarwinds:

- Administración del ancho de banda (bandwidth management)
- Administración del desempeño (performance management)
- Administración de faltas y alertas (fault management and alerting)
- Gráficas en tiempo real (real-time graphing)
- Descubrimiento de la red y mapeo de puertos (network discovery and switch port mapping)
- Análisis de seguridad de router (router security analysis)
- Administración de la configuración de routers Cisco (configuration management for Cisco routers)
- Administración de direcciones IP (IP address management)

Dado que para este trabajo se contó con la posibilidad de manejar solamente algunas de las herramientas de HP OpenView y Solarwinds, solo se pudo realizar chequeo del ancho de banda de los enlaces y administrar la capacidad de procesamiento de la CPU y la memoria. Con este análisis se pudo determinar el tráfico generado por los diferentes puntos de presencia desde el proveedor de servicios es del 84%, mientras que el tráfico enviado por la red de datos hacia el proveedor es de tan sólo 15.7% con un 0.3% para el control del tráfico.

En las gráficas 4-8 y 4-9 se muestra el tráfico de la interfaz 200.21.83.129 (salida WAN) de uno de los proveedores en un determinado día. Este muestreo se llevo a cabo a lo largo de tres meses en los cuales se pudo determinar las estadísticas anteriormente mostradas.

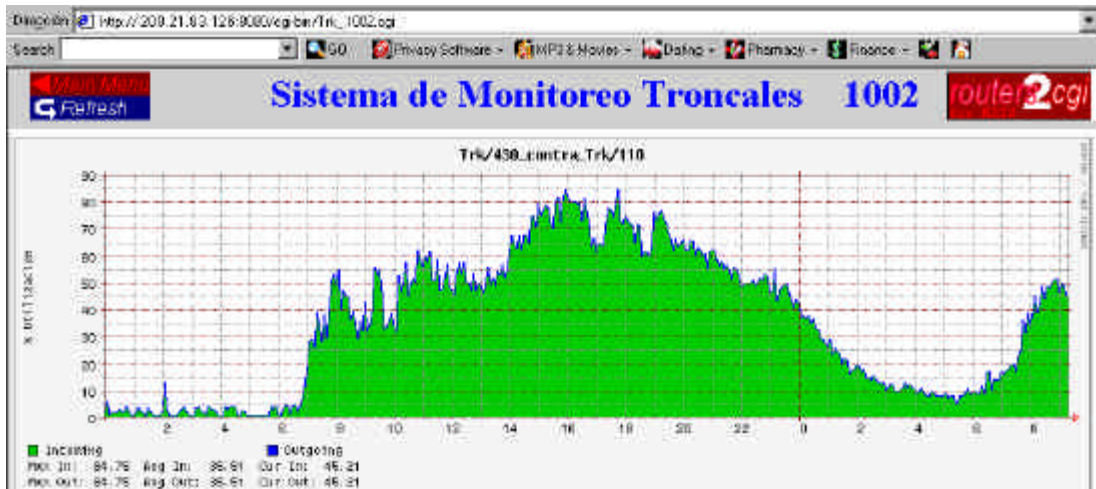


Figura.4-8 Tráfico entrante puerto 200.21.83.129

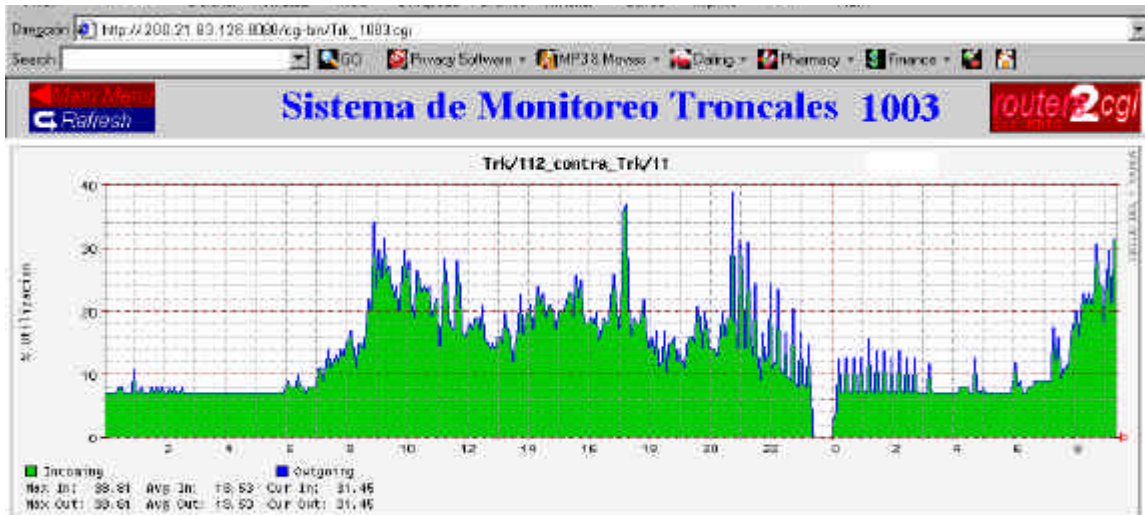


Figura.4-9 Tráfico saliente puerto 200.21.83.129

4.4.3. Ancho de banda de los enlaces

El ancho de banda para los enlaces se mantiene el que tiene la red, con una capacidad de 10 Mbps para cada enlace entre el punto central y los diferentes puntos de distribución. Este ancho de banda se debe distribuir de la siguiente manera: el 20% para el tráfico de datos críticos, el 10% para el tráfico de aplicaciones de video y voz y el 70% para datos con tratamiento BE. Con el crecimiento paulatino de las aplicaciones multimedia esta proporción podría variar pero teniendo en cuenta que no vaya a superar el 70% de la totalidad del ancho de banda.



4.4.4. Asignación de las prioridades

En la sección 4.3.1.1 se definieron cada una de las prioridades que las aplicaciones.

4.4.5. Selección de equipos de red

La red actualmente adquirió los siguientes equipos cisco 3750, con los cuales se puede proveer calidad en el servicio, solo sería necesario habilitar algunas funcionalidades y adquirir un equipo adicional para la frontera.

4.4.5.1. Solución de frontera (Cisco 4600)

Para la red de la Universidad del Cauca, este equipo es el más robusto en cuanto a capacidades de manejo de tráfico y características de QoS (mapeo de QoS dentro y fuera de la LAN) por ello se debe ubicar en la salida LAN/WAN y habilitarle en el mapeo DSCP para manejo de DiffServ.

4.4.5.2. Plataforma de distribución (Cisco 3750)

Esta solución ya fue adquirida por la Universidad del Cauca. La Red de Datos cuenta con 5 conmutadores Catalys 3750 24TS. Con los cuales se puede tener las siguientes características:

- Manejar hasta un máximo de 468 10/100 puertos o 252 Ethernet, agrupados según los requerimientos de cada zona.
- Multicast inteligente: Cisco con la tecnología de StackWise ofrece a la eficacia mayor por los funcionamientos del multicast para video.
- QoS: Permite que los servicios con QoS definida, tenga un tratamiento diferenciado y se acelere el procesamiento de los mismo. Incluso a diez veces velocidad de la red normal.
- Seguridad: El Cisco 3750 serie apoya un nivel comprensivo de seguridad. Pueden controlarse Connectivity y mando de acceso a través de ACLs, autenticación y seguridad.
- Cada Cisco 3750 se maneja como un solo objeto no importa cuántas subredes soporte. El mecanismo frente a fallas es más robusto, ya que permite la creación de LAN virtuales y la modificación, seguridad y mandos de QoS.
- IPv6. Cuando los dispositivos de la red crecen y la necesidad para los esquemas sean más exigentes permite mediante una actualización hardware soportar IPv6



Estos equipos serán ubicados en las siguientes salas de cómputo:

1. Sala de Equipos IPET
2. Sala de Equipos El Carmen
3. Sala de Equipos Santo Domingo
4. Sala de Equipos Educación
5. Sala de Equipos Vice-rectoría de investigaciones.

En cada uno de ellas se realiza la configuración adecuada de acuerdo al tráfico generado en cada una de ellas y con los mecanismos de QoS solicitados.

4.5. IMPLEMENTACIÓN DE QoS EN LA RED DEL PROVEEDOR

A Continuación, se dan los pasos que se requieren para desplegar una solución DiffServ-MPLS:

- Decidir el modelo de restricciones de ancho de banda y asociarlo con cada uno de los enlaces presentes en la red.
- Configurar adecuadamente el tipo de encolamiento y la asignación de ancho de banda en cada enlace.
- Decidir la cantidad de ancho de banda que deben ser configurados y las prioridades que deben ser asignadas a cada uno de los servicios.
- Configurar un protocolo de enrutamiento externo con capacidad de enrutamiento por restricciones p.e. OSPF, IS-IS.
- Determinar y configurar los LSPs con la reservación de ancho de banda, el tipo de clase y la prioridad deseados.

Decidir si el tratamiento de DiffServ se determinará del campo EXP de la etiqueta MPLS o de otro campo. Si el tratamiento de DiffServ se basa en la información del campo EXP se debe configurar adecuadamente el mapeo a los PBH y asegurarse de que el tráfico esta marcado correctamente.

El equipo de frontera (E-LSR), debe garantizar que el mapeo al campo EXP de las prioridades definidas por el PHB sean respetados y garantizados a través de toda la red MPLS del proveedor, cada uno de los PHB's implementados tendrá un valor EXP diferente. Los LSP's definidos para este fin solo realizarán tres funciones dentro del Backbone del proveedor de servicio, de acuerdo al modelo DiffServ:



- Reclasificación de paquetes.
- Eliminación de la congestión a través de WRED.
- Encolamiento por WFQ.

Para lograr la incorporación de QoS a través de la red MPLS, el SP debe establecer primero los tipos de servicios que va a ofrecer a la red de la Universidad del Cauca y determinar los SLA's solicitados por el cliente.

Dentro de la arquitectura de red, en este capítulo sólo se va a desarrollar las características del equipo E-LSR de la red MPLS el cual está interconectado al equipo de frontera de la red de la Universidad.

Con MPLS utilizando RSVP, se debe implementar el protocolo RSVP, con algunas modificaciones (extensiones de Tunnelling) para manejar la señalización de los LSP's. Este protocolo utiliza de manera subyacente IGP's extendidos como protocolos de enrutamiento (OSPF-TE o IS-IS TE). La plataforma escogida requiere un protocolo subyacente tal como LDP o CR-LDP y sobre el cual se implementa RSVP-TE: esta opción permite proveer TE y QoS; donde hay los enrutadores, y estos actuarían como LSR serían los encargados de proveer la definición de las FECs. MPLS usando RSVP-TE, requiere además, la implementación del protocolo de enrutamiento OSPF con extensiones para TE, por lo cual, en los nodos existentes, debe efectuar la integración de los enrutadores virtuales con los enrutadores seleccionados; y se requiere también, la implementación de la funcionalidad de *LSR* en los nodos existentes.

Las funcionalidades de QoS y MPLS combinadas, no han sido incorporadas aun a la plataforma de red de proveedores, básicamente porque algunas funcionalidades requeridas para esta implementación, no son soportadas por las versiones de software actualmente manejadas por los equipos de los proveedores y los enrutadores instalados.

Los siguientes pasos describen los procedimientos, involucrados para el dimensionamiento de la red MPLS. Para este proceso se tuvo en cuenta el análisis de la red Multinet de Emtelco S.A, en el cual se realizaron las pruebas que soportan este trabajo de grado.

4.5.1. Diseño de los puntos de presencia.

El nodo a considerar es el ubicado geográficamente en Popayán y será cualquiera de los proveedores de servicio (Emtel, Telecom, Orbitel, ETB) Para determinar este nodo se

debe tener en cuenta tanto el tráfico que debe cursar por este punto, como también los centros de concentración de la Universidad del Cauca. El punto de presencia se interconectará directamente con el enrutador de Cali y/o Bogotá, para ingresar al backbone IP/PMPLS. Este nodo de red de proveedor debe soportar varios tipos de acceso, pero en particular para la solución de la Universidad debe ser del tipo de acceso Metro-Ethernet debido a:

- Su relación de bajo costo por puerto es menor a US \$250 para equipos de agregación de proveedor.
- Debe ser un nodo con capacidad de MPLS para poder agregar soluciones como Frame Relay, ATM, PPP etc. Esta característica la haría atractiva a los proveedores porque pueden atender servicios legados y también tráfico IP.

4.5.2. Diseño de la topología del backbone de red

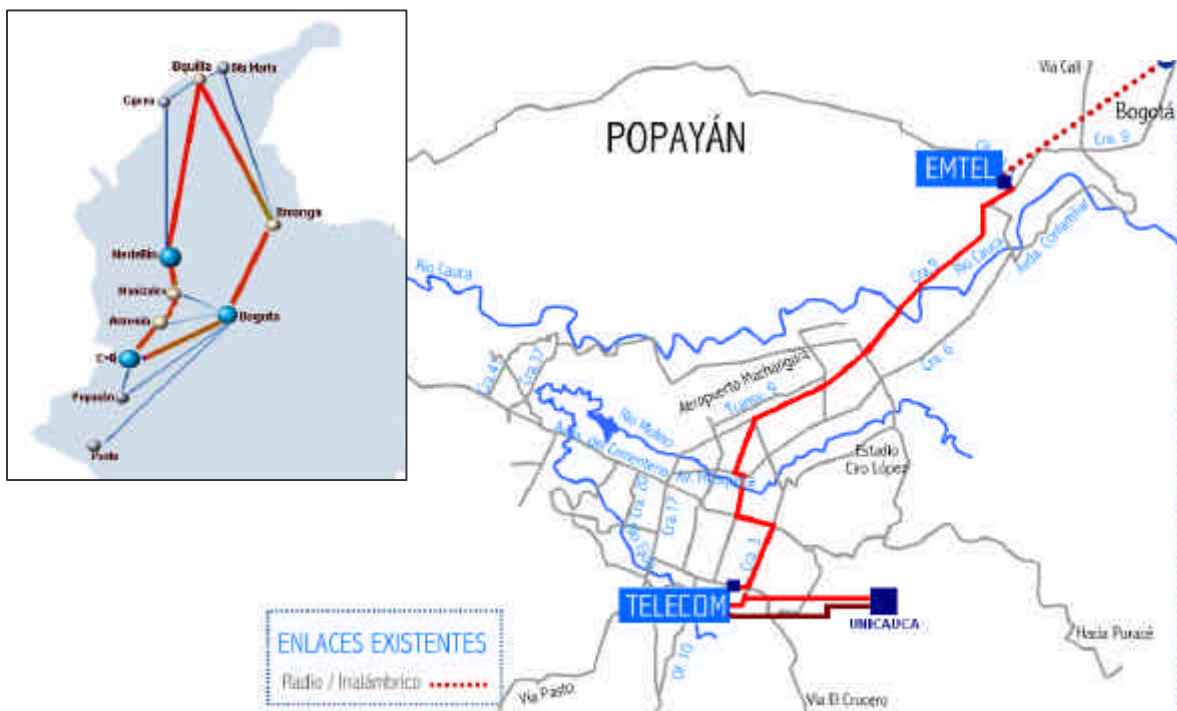


Figura.4-10 Topología de Diseño. Las líneas gruesas indica el Core IP/MPLS.

El Core IP/MPLS, con cobertura nacional debe tener como eje las principales zonas del país, las cuales son Bogotá, Cali y Medellín (Figura 4-10). La conexión debe ser en forma de anillo, con una capacidad mínima de transmisión de STM-1, con granularidades de transmisión E1 y E3, para interconexión local y una capacidad máxima de transmisión de STM-4, con granularidades de E3 y STM-1, para conexión nacional. En los nodos



metropolitanos tendrán una capacidad mínima de transmisión de Giga Ethernet sobre fibra oscura o una capacidad mínima de transmisión de STM-4 POS sobre la red existente SDH o Giga Ethernet sobre fibra oscura. La ciudad de Popayán, tendrá redundancia en Santa Clara con un enlace Popayán – Cali (Enlaces físicos) y Popayán – Bogotá. (Enlace lógico).

La nueva plataforma, permitirá la convergencia de redes y servicios entre los cuales se encuentran los de la Red Multiprotocolo e Internet, servicios punto a punto de transmisión de datos - aun no unificados, tales como VoIP, RAS (Servicios de Acceso Remoto) y los servicios privados- y los nuevos servicios a desarrollar como VPNs IP de Niveles 2 y 3, Videoconferencia, IP Centrex, Servicios de IDC, Mensajería Unificada, Vídeo en Demanda, Gaming, Servicios Administrados de Voz y Datos, Video-Vigilancia. Los servicios que se prestaran en este nuevo Core son Red de acceso cable módem, Red metroethernet, IDC, Red de Acceso xDSL y Red multiprotocolo

4.5.3. Calcular el ancho de banda de los enlaces

Los enlaces de Bogota-Medellín, presentan redundancia de 155 Mbps y 312Mbps asignados al tráfico cursado por la red EPM (empresas públicas de Medellín) que dentro de su portafolio de servicios esta enfocado a proveer servicios de Internet masivo.

	Cali	Bogotá	Medellín
Cali	-	155	155
Bogotá	155	-	622
Medellín	155	155	-

4.5.4. Asignar la capacidad de los enlaces

El ancho de banda asignado a cada uno de los enlaces, depende de cada una de las conexiones establecidas en los nodos. Debido a la complejidad de los enlaces de cada uno de los proveedores, solo se manejará la capacidad empleada por la Red de la Universidad del Cauca, independiente del tráfico generado por los otros clientes.

4.5.5. Verificar la selección de equipos de red

La selección de los equipos esta ligada a las pruebas que se realizaron con los proveedores Cisco, Nortel, Juniper y Tellabs. Pero no le concierne a este trabajo definir



soluciones puntuales, solo se menciona los estudios realizados y los fabricantes que se adaptarían perfectamente a la arquitectura de red de la Universidad del Cauca.

4.6. ALCANCE Y EFECTIVIDAD DE LA SOLUCION: QoS E2E

La solución presentada para brindar QoS e2e con DiffServ en la frontera de red para la Universidad del Cauca y MPLS para el proveedor de servicio, pone en descubierto un camino efectivo para ofrecer servicios multimedia y de datos a comunidades distantes, tanto en los ámbitos de formación como de la investigación, otorgando beneficios como los siguientes:

- Suministrar un medio de comunicación permanente, fiable, con altas velocidades y robustos parámetros calidad, que permita unificar los esfuerzos educativos de la Universidad, estrechando los vínculos tanto a nivel académico como social, eliminando las barreras impuestas por el actual mecanismo de intercambio de información.
- Soportar procesos de comunicación alternativos al interior y al exterior del entorno universitario, que mejoren la calidad en la formación académica y la calidad de vida de las comunidades con las que la universidad interactúa. Brindando servicios tales como Telemedicina, Teleducación, teletrabajo, etc.
- Proporciona un medio único por el que se pueden soportar los distintos servicios que demandan cada una de las sedes a interconectar, destacando entre ellos el servicio de aplicaciones multimedia, mediante el cual es posible adquirir, ampliar y difundir mucha más información que conlleva a la generación de una base de conocimiento verdadera; adicionalmente, sobre este mismo medio se pueden adecuar muchos más servicios para muchos más usuarios, conforme pase el tiempo y surjan necesidades nuevas.
- Mejora la productividad de las personas, bien sea en el desarrollo de procesos académicos, como en el ejercicio profesional, impactando en el desarrollo social, comercial y de salud del sector o región que las rodea.



- Brinda una opción atractiva para los proyectos de investigación que se desarrollan en el Alma Mater para potenciar su campo de acción, replicando sus experiencias con base en capacidades y posibilidades nuevas, que eliminan los desafíos grandes hasta ahora impuestos por la utilización de tecnologías IP nativas.
- Pone la pauta para fomentar proyectos futuros en busca de conectividad, innovación y desarrollo social, contribuyendo a la creación de una verdadera Sociedad de la Información.
- Tener una red con la mayor capacidad de herramientas de QoS crea ventajas competitivas para la Universidad para apalancar proyectos de investigación y desarrollo en muchas áreas del conocimiento este valor agregado podría determinar la asignación o no de proyectos de envergadura.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A lo largo del desarrollo del trabajo se llegaron a las siguientes conclusiones:

- En la actualidad el factor QoS adquiere mayor importancia en todos los escenarios de la redes (LAN, WAN) debido a la integración de servicios dentro de una sola infraestructura de red que obliga a implementar la QoS como política de servicio. El objetivo de QoS ha cambiado con el tiempo; de implementarla cuando existía el fenómeno de la congestión se pasó a implantarla como elemento diferenciador para prestar un servicio.
- Con la implementación de QoS, en las redes WAN se logra optimizar la utilización del ancho de banda para cada uno de los clientes sin tener que sobredimensionar los enlaces y atender una mayor cantidad de clientes con la misma cantidad de recursos. Esto contribuye a que la administración de la red WAN obtenga un ahorro significativo de costos y con ello una mayor competitividad.
- Para las redes LAN la implementación de QoS permite desplegar múltiples servicios sobre la misma infraestructura de red y además permite marcar y mapear los paquetes según su interés para que los factores como retardo, pérdida de paquetes y jitter sean mantenidos bajo ciertos parámetros cuando la información sale hacia Internet.
- Dentro de las redes IP, la arquitectura DiffServ ha tenido un mayor dinamismo para su despliegue debido a que responde con una mayor escalabilidad a las soluciones que requieren los clientes en el entorno actual, donde se solicitan cada vez más servicios con mejores características de calidad. Esto debido a que no se requiere realizar reservas de ancho de banda ni señalización e2e para prestar un servicio con QoS como IntServ que en la actualidad lo hace inviable para el despliegue por parte del proveedor de servicios.
- La prestación de servicios con tratamiento diferenciado puede ser constituida a partir de la definición de comportamientos por saltos de reenvío (AF PHB, EF) con diferentes prioridades en una red de Servicios Diferenciados (DiffServ). Esto permite también que un proveedor de un dominio DS pueda ofrecer diferentes niveles de seguridad de reenvío a los paquetes IP recibidos de un cliente. En esencia, este



comportamiento por saltos (PHB) está relacionado fundamentalmente con la importancia de los paquetes, en el sentido de que los paquetes más importantes son los que deben tener una probabilidad más baja de descarte.

- Todas las técnicas de QoS necesarias para desplegar DiffServ dentro de una red como clasificación, marcación, encolamiento y descarte de paquetes están maduras lo que permite que DiffServ sea más fácil de implementar por los clientes (redes LAN). Además la tecnología permite desplegar sólo algunas de las funciones de DiffServ si el cliente lo requiere.
- DiffServ se plantea como la solución más adecuada para ofrecer calidades diferenciadas en las redes IP debido a que es compatible y complementaria con MPLS. Usando las dos de manera combinada se pueden aprovechar las capacidades de gestión de tráfico de DiffServ dentro de la red LAN y la de Ingeniería de Tráfico de MPLS en la red WAN para ofrecer servicios QoS e2e haciendo un uso más eficiente de los recursos.
- MPLS le ofrece a las redes IP características de QoS debido a que en la fase de establecimiento del LSP se pueden tener en cuenta los criterios apropiados con el fin de establecer rutas prefijadas para los paquetes. De esta manera, se da una cierta orientación a conexión a la red IP que permite introducir una serie de mecanismos de cara a obtener una mejor gestión de los recursos que pueda garantizar determinados niveles de calidad de servicio para los flujos, además es posible dirigir el tráfico desde enlaces sobrecargados de la red hacia otros que estén subutilizados, obteniendo una distribución más uniforme de la carga, que se traduce en un mejor aprovechamiento de los recursos.
- Para mantener la diferenciación establecida por un cliente en su red LAN dentro de las redes del proveedor la estructura de MPLS, esta creó dos caminos conmutados (LSP) capaces de soportar el mapeo de la información de QoS que traen consigo los paquetes IP y se consignan en el campo experimental de la etiqueta MPLS, como también la asignación de la etiqueta a su correspondiente PHB. Los dos LSP definidos son: LSP cuyo comportamiento es deducido del campo experimental (E-LSP) y LSP cuyo comportamiento es deducido de la etiqueta (L-LSP).
- Aunque el despliegue de DiffServ/MPLS dentro de la red de Campus es técnicamente posible (los equipos adquiridos recientemente por la universidad tienen la capacidad de realizar conmutación de etiquetas) esta solución está sobredimensionada para las necesidades de QoS actuales y a mediano plazo para los servicios que se prestan



dentro de la red de la Universidad del Cauca. Una solución más acorde con las necesidades de la red pasa por implementar ciertas funciones de DiffServ para aplicaciones que requieran un tratamiento especial cuando vayan hacia Internet y que el proveedor sea capaz de mantener los requisitos de QoS dentro de su WAN. Esto último se podría lograr con el despliegue de MPLS sin tener que reservar anchos de banda costosos a través de ATM o Frame Relay que terminaría pagando la Universidad.

- Las políticas de QoS dentro de la Universidad dependen del criterio de los administradores de red y además de los servicios que se transporten por la red LAN. Para las políticas de QoS hacia Internet entra otra variable en juego: el proveedor de servicio que depende de su infraestructura de red y de la política de QoS establecidas para los servicios. Por ello es de especial importancia determinar el Acuerdo de nivel de servicio requerido por la Universidad porque de este depende la calidad ofrecida y el precio que hay que pagar por ella.
- A nivel global clientes, proveedores de servicio y proveedores de equipos se han inclinado por DiffServ para ofrecer QoS dentro de las redes IP, la universidad del Cauca no puede quedarse rezagada ante el tema de QoS porque ello podría significar perder el liderazgo en el despliegue de la redes universitarias de nueva generación como IPv6 o Internet 2. Que la red funcione no significa que no se requiera implementar DiffServ cuando la aldea global en la que vivimos nos ofrece y requiere aplicaciones que van más allá del simple transporte de datos.
- Aunque en la actualidad los servicios prestados por la red de la universidad del Cauca hacen innecesarios el despliegue e2e a través de MPLS si se requiere la capacidad de clasificación, marcación y priorización de ciertas aplicaciones para poder desplegar nuevos servicios de red.
- En el tema de calidad de servicio no se ha dicho la última palabra y eso genera dos retos para la red de la Universidad del Cauca: la experimentación e investigación en el área de QoS, pero además la responsabilidad de explotar al máximo los recursos de la red para poder afectar a la mayor cantidad de personas posibles a través del fin último de la universidad del Cauca: la Educación.

ACRÓNIMOS

AAL	ATM Adaptation Layer. (ATM)
AB	Ancho de banda
ABR	Available Bit Rate
ACR	Available Cell Rate
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AF	Assured Forwarding
AG	Access Gateway
API	Application Programming Interface
AS	Autonomous System
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BA	Bandwidth Allocator
BGP	Border Gateway Protocol
BRFQ	Bit-Round Fair Queuing
CAC	Connection admission control. (ATM)
CBO	Continuous bit-stream oriented traffic
CBQ	Class-Based Queueing
CBR	Constant Bit Rate
CBS	Committed Burst Size
CDR	Committed Data Rate
CDV	Cell Delay Variation
CDVT	Cell Delay Variation Tolerance
CIF	Cells in Frames
CLP	Cell Loss Priority
CLR	Cell Loss Ratio
CORR	Carry-Over Round Robin
CoS	Clase de Servicio
CPDS	Code Points DS



CPE	Customer Premises Equipment
CRC	Cyclic Redundancy Code
CR-LDP	Constraint-Based Routing Label Distribution Protocol
CS	Convergence Sublayer
CTD	Cell Transfer Delay
DCT	Discrete Cosine Transform
DES	Discrete Event Simulation
DiffServ	Modelo de Servicios Diferenciados (Mecanismo de QoS)
DJ	Delay-Jitter control regulator
DMA	Direct Access Memory
DNS	Domain Name Server
DRR	Deficit Round Robin
DRRA	Deficit Round Robin Alternated
DS	Differentiate Services
DSCP	Differentiated Services Code Point
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DVI	Digital Video Interactive
ECN	Explicit Congestión Notification
EDD	Earliest Due Date. (Disciplina de servicio).
EF	Expedite Forwarding
EGP	Protocolo de enrutamiento exterior (entre As).
E-LSR	Edge-Label Switch Router (Label Edge Router)
ERFC	Explicit Rate Flow Control
ER-LSP	Explicit Routed-Label Switched Path
ETSI	Instituto europeo de Estandares de Telecomunicaciones
FDDI	Fiber Distributed Data Interface
FEC	Forwarding Equivalence Class
FFQ	Fluid Fair Queuing. (Disciplina de servicio)
FIFO	First In First Out
FQ	Fair Queuing
FTP	File Transfer Protocol
GFC	Generic Flow Control



GOP	Group of pictures.(MPEG).
GPS	Generalized Processor Sharing. (Disciplina de servicio).
HDVT TV	High-definition TV
HEC	Head Error Code
H-GPS	Hierarchical Generalized Processor Sharing
H-PFQ	Hierarchical Packet Fair Queuing
HRR	Hierarchical Round Robin
ICMP	Internet Control Message Protocol
IEC	International Electrotechnical Commision
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IGP	Protocolo de enrutamiento interior (dentro de un AS)
ILMI	Interim Local Management Interface
IntServ	Integrated Sevices
IP	Internet Protocol
IPDV	IP packet delay variation
IPER	IP packet error ratio
IPLR	IP packet loss ratio
IPOD	IP Operator Domain
IPRE	Ippacjet transfer reference event
IPTD	IP packet transfer delay
IPX	Internetwork Packet Exchange
ISA	Industry Standart Architecture
ISO	International Standard Organization
ISP	Internet Service Provider
ITU	International Telecommunication Union
ITU-T	International Telecommunication Union, Telecommunication Standarization
JPEG	Joint Photographic Expert Group.
LAN	Local Area Network
LANE	LAN Emulation Service
LDP	Label Distribution Protocol
LFVC	Leap Forward Virtual Clock



LIFO	Last in First out
LLC	Logical Link Control
L-LSP	Loose-Label Switched Path
LRS	Latency-Rate Servers
LSA	Link State Advertisement
LSP	Label Switched Path
LSR	Label Switch Router
MAC	Medium Access Control
MBS	Maximum Burst Size
MCR	Minimum Cell Rate
MCU	Unit Megaco Media Gateway Control Protocol
MLPS	Multi Protocol Labeling Switching
MPLS-TE	Multiprotocol Label Switching-Traffic Engineering
MTU	Maximum Transmission Unit
NAT	Network Address Translation
NFS	Network File System
NI	Networks Interface
NRT-VBR	Number of Resource Management Cells
OA	Ordered Aggregate
OAM	Operation and Maintenance
OSPF	Open Shortest Path First
P2P	Peer to peer
PBS	Peak Burst Size
PCI	Peripheral Component Interface
PCM	Pulse Code Modulation
PCR	Peak Cell Rate
PDR	Peak Data Rate
PDU	Protocol Data Unit
PGPS	Packet General Processor Sharing
PHB	Per-Hop Behavior
PIA	Percent IP service availability
PID	Process Identifier



PIU	Percent IP service unavailability
PNNI	Private Network-to-Network Interface
PPP	Point to point protocol
PQoS	QoS percibida
PS	Processor Sharing
PTI	Payload Type Indicator
QoBiz	Quality of Business
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
RCSP	Rate Controlled Static Priority. (Disciplina de servicio)
RDSI	(ISDN) Red Digital de Servicios Integrados
RED	Random Early Detection
RFC	Request for comments
RJ	Rate Jitter control regulator
RPQ	Rotating-Priority-Queues
RSVP	ReSerVation Protocol
RSVP-TE	Resource Reservation Protocol-Tunnelling Extensions
RTP	Real-Time Protocol
RTSP	Real-Time Streaming Protocol
RTT	Round trip time
SAR	Segmentation and Reassemble
SCFQ	Self clocked fair Queueing. (Disciplina de servicio).
SFQ	Start-time Fair Queueing
SG	Stop-and-Go
SLA	Service Level Agreement
SMB	Subnet Bandwidth Manager
SNA	Systems Network Architecture.
SNMP	Simple Network Management Protocol
SPFQ	Starting Potential-based Fair Queueing
STB	Set Top Box
TCP	Transport Control Protocol
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol



TDM	Multiplexación por división de tiempo
TE	Ingeniería de Tráfico
TFF	Tasa de falsos fallos
TLV	Type, Length, Value
TM	Traffic Management
ToS	Type-of- Service
TS	Time Stamp
UBR	Unspecified Bit Rate
UDP	User Datagram Protocol
UNI	User-to-network interface
VBR	variable bit-rate traffic
VCC	Virtual Channel Connection
VCI	Virtual Circuit Identifier
VoD	Video on Demand
VoIP	Voice over IP
VPI	Virtual Path Identifier
VR	Virtual Router
VTC	Video Teleconference
WAN	Wide Area Network
WFQ	Weighted Fair Queuing. (Disciplina de servicio).
WRR	Weight Round Robin

GLOSARIO

AAL. *ATM Adaptation Layer.* Es un conjunto de protocolos estandarizados que adaptan el tráfico de usuario al formato de celda. AAL está subdividida en la subcapa de convergencia y la subcapa de segmentación y reensamblaje. Hay varios tipos de AAL para soportar las distintas clases de servicio.

ATM. *Asynchronous Transfer Mode.* Es una tecnología de multiplexación y conmutación basada en celdas de longitud fija. Es asíncrona en el sentido de que la recurrencia de celdas conteniendo información de un usuario individual es no periódica.

BEST EFFORT (Mejor Esfuerzo). Una clase de QoS en la cual no se proporciona parámetros de tráfico específicos ni garantías absolutas.

BGP. *Border Gateway Protocol.* Es el protocolo de enrutamiento Inter.-sistema Autónomo usado en redes IP (BGP4).

CBR. Velocidad binaria constante. Una de las cinco clases de servicio ATM que ofrece la transmisión de información en un flujo continuo de bits en el que el tráfico, como voz y video, debe satisfacer ciertos requisitos de QoS.

CLASE DE SERVICIO (CoS). Una designación de las características de la red de transporte, como la seguridad de la ruta, la prioridad de transmisión y el ancho de banda, necesarias para una sesión concreta. La clase de servicio se deriva de un nombre de modo específico por el iniciador de una sesión.

CALIDAD DE SERVICIO (QoS). Representa las necesidades de servicio de un conjunto de aplicaciones que pueden ser satisfechas mediante el uso de mecanismos de QoS. En general contempla un conjunto de parámetros y sus valores, los cuales determinan el desempeño de un servicio o aplicación.

CIRCUITO VIRTUAL. Una conexión establecida a lo largo de la red entre un origen y un destino en la que se elige una ruta para toda la sesión y el ancho de banda se asigna dinámicamente.

CIRCUITO VIRTUAL CONMUTADO. Una conexión en la cual se utiliza señalización de control para establecerla y desconectarla dinámicamente. P.e. RDSI, X.25



CIRCUITO VIRTUAL PERMANENTE. Una conexión virtual establecida por la gestión de red entre un origen y un destino que se puede mantener de forma permanente (se utiliza en los protocolos X.25 y FR)

CAMPUS. Un entorno de red en el cual los usuarios (Con aplicaciones de voz, datos y video) están desplegados a lo largo de una zona geográfica extensa, como en una universidad, hospital o centro medico. Pueden existir varias LAN en un campus y están conectadas mediante puentes y/o enrutadores que se comunican a través de cable coaxial o fibra óptica.

CAUDAL. *Throughput.* Es la cantidad de información transferida a través de la red entre dos usuarios en un periodo dado, usualmente medida por la cantidad de paquetes que se transmiten por segundo (pps).

CBR. *Constant Bit Rate.* Una de las cinco clases de servicio ATM. Soporta la transmisión de una cadena continua de bits de información, tal como tráfico de voz y de video, el cual requiere una cantidad constante de ancho de banda asignada a la conexión por la duración de la transmisión.

CELL MODE. Modo de operación de MPLS en el cual se integran las tecnologías IP y ATM y se codifica la etiqueta local en el valor de los campos VPI/VCI de la cabecera ATM.

CES. *Circuit Emulation Service.* Un servicio ATM en el cual circuitos virtuales CBR usan AAL1 para proveer un circuito físico de extremo a extremo que emule una conexión TDM entre dos puntos terminales.

CR – LDP. *Constraint – based Routing Label Distribution Protocol.* Es un grupo de extensiones a LDP que habilitan el enrutamiento basado en restricciones y la reservación de calidad de Servicio (QoS) en una red MPLS.

CONTRATO DE TRÁFICO. Un acuerdo entre el usuario y el agente de gestión de red respecto a la QoS esperada proporcionada por la red y al compromiso del usuario para los parámetros predeterminados de tráfico.

CONTROL DE CONGESTIÓN. Mecanismo de gestión de recursos y de tráfico para evitar y/o prevenir situaciones límite (desbordamiento de búferes o ancho de banda insuficiente) que pueden provocar

DESEMPEÑO. *Performance.* Percepción cualitativa del nivel de calidad de los servicios y aplicaciones que viajan sobre una red y que se mide mediante parámetros cuantitativos tales como el retardo, jitter, pérdida de paquetes y ancho de banda.



DLCI. (*Data Link Connection Identifier*). Valor que especifica un PVC o un SVC en una red Frame Relay. En la especificación Frame Relay básica, los DLCI son significativos localmente (es decir, dispositivos conectados que usan diferentes valores para especificar la misma conexión). En la especificación extendida LMI, los DLCI son significativos globalmente (es decir, los DLCI especifican dispositivos de extremos individuales).

EGP. *External Gateway Protocol*. Protocolo de enrutamiento exterior. Son los protocolos utilizados para el enrutamiento entre sistemas autónomos. Ejm. BGP.

ENRUTAMIENTO BASADO EN RESTRICCIONES. Enrutamiento basado en protocolos de enrutamiento interior con extensiones que utilizan, además de las métricas convencionales, otros parámetros tales como ancho de banda reservado, ancho de banda disponible, etc.

ENRUTAMIENTO HOP BY HOP. Se dice del enrutamiento que se realiza en un router, en el cual los paquetes deben dirigirse hacia otro enrutador hasta llegar a su destino.

ENRUTAMIENTO. *Routing*. Es el proceso de seleccionar la ruta más eficiente para la transmisión de un mensaje. En IP se efectúa mediante algoritmos que dependen del protocolo de enrutamiento que se utilice. Ejm. Algoritmo de Dijkstra utilizado por el protocolo OSPF.

ESTADO DEL ENLACE. *Link State*: Paradigma de envío de información de enrutamiento en el cual las notificaciones de eventos o LSA (*Link State Advertisements*) son enviados cuando ocurren y no periódicamente como en el caso de los protocolos de enrutamiento de vector distancia (*distance vector*).

ETHERNET. Diseño de red de área local normalizado como IEEE 802.3. Utiliza transmisión a 10 / 100 Mbps o un 1 Gbps, por un bus coaxial. Método de acceso es CSMA/CD.

ETIQUETA. (Label). Un pequeño identificador de longitud variable que es usada para determinar el envío de un paquete usando un algoritmo de matching exacto y que es usualmente reescrito durante el envío.

FEC. (Forwarding Equivalence Class). Un grupo de paquetes que pueden ser manejados equivalentemente para el propósito de envío y así está disponible para atarlo a una etiqueta. El grupo de paquetes destinado para un prefijo de dirección es un ejemplo de un FEC.

FRAME RELAY. Protocolo de comunicaciones, basado en el protocolo X.25, que trabaja solamente en los dos primeros niveles del modelo OSI (nivel físico y nivel de enlace). De



esta manera se consigue una velocidad de transmisión de datos de hasta 2 Mbit/s. Es un protocolo para intercambio de datos entre un concentrador y una red de datos.

HARDWARE. Es todo equipo físico de comunicaciones.

HEADER. Cabecera. Es parte de la etiqueta, que nos indica la dirección origen y destino del mismo, y también nos muestra otras características propias de cada protocolo.

IETF. (Internet Engineering Task Force). Es el mayor cuerpo de establecimiento de estándares para la Internet y la suite de protocolos IP.

IGP. *Interior Gateway Protocol.* Protocolo de enrutamiento interior. Protocolos utilizados para el enrutamiento dentro de un sistema autónomo. Ejm. RIP, EIGRP, OSPF, IS-IS, etc.

INGENIERÍA DE TRÁFICO. Aspecto de la Ingeniería de Redes dirigido hacia la optimización de desempeño de redes en operación. El objetivo principal de la TE es lograr un uso más eficiente de los recursos de la red, solventando los inconvenientes del enrutamiento IGP.

IP. (Internet Protocol). Es un protocolo de bajo nivel para redes que describe la manera cómo el usuario puede comunicarse con los miembros de Internet.

ISP. (Internet Service Provider). Proveedor de servicios de Internet.

JITTER. Es la desviación de una señal de transmisión en tiempo o fase. Puede introducir errores y pérdida de sincronización en comunicaciones síncronas de alta velocidad.

LABEL SWITCHING. Describe todos los enfoques del envío de paquetes IP (u otra capa de red) usando un algoritmo de intercambio de envío de etiquetas, sobre el control de los algoritmos de enrutamiento de la capa de red.

LDP. *Label Distribution Protocol.* Es el protocolo básico utilizado para la distribución de etiquetas en MPLS. Definido por el IETF.

LER (E-LSR). *Label Edge Router (o Edge-Label Switch Router).* Es un dispositivo que opera en el borde del dominio MPLS, permite el ingreso y egreso del tráfico hacia y desde el dominio MPLS y clasifica el tráfico de ingreso para asignarlo a una FEC.

LER. (Label Edge Router). Es un dispositivo que opera en el borde del acceso a la red y la red MPLS.



LSP. (Label Switched Path). Es la ruta seguida por un paquete etiquetado sobre múltiples saltos, comenzando en un LSR de ingreso y finalizando en un LSR de egreso.

LSR. *Label Switching Router.* Es un termino general que se emplea para denominar a un dispositivo que realiza conmutación de etiquetas.

MATCHING. Es un mecanismo que se consiste en la comparación de parámetros, para encontrar similitudes.

MPLS. (Multiprotocol Label Switching). Es el nombre que IETF le ha dado a un grupo responsable para el "label switching".

MPLS. *Multiprotocol Label Switching.* Tecnología que integra la conmutación de capa 2 con el enrutamiento de capa 3, utilizando como paradigma de envío la conmutación de etiquetas. Sus aplicaciones básicas son: Ingeniería de Tráfico, Calidad de Servicio y VPN.

MULTICAST. Envío de paquetes desde un punto a varios simultáneamente.

OSPF. *Open Shortest Path First.* Es un protocolo de enrutamiento de estado de enlace (Link State) intra sistema autónomo, jerárquico.

PIM. (Protocol Independent Multicast). Un protocolo de enrutamiento multicast que esta siendo estandarizado por el IETF.

PNNI. (Private Network - Network Interface). Es un protocolo de información de enrutamiento que habilita la escalabilidad, donde los conmutadores ATM de diferentes proveedores puedan ser integrados dinámicamente en una misma red.

POLÍTICAS DE TRÁFICO. *Traffic Policing.* Es un mecanismo donde cualquier tráfico que viole el contrato de tráfico acordado para el establecimiento de una conexión, es detectado y descartado.

PPP. (Point to Point Protocol). Protocolo punto a punto. Un sucesor del SLIP. El PPP provee las conexiones sobre los circuitos síncronos o asíncronos, entre enrutador y enrutador, o entre concentrador y la red. Protocolo Internet para establecer enlace entre dos puntos.

PROTOCOLO. Un protocolo es un conjunto de reglas o convenciones que gobiernan la manera en que se comunican entre sí dos o más computadoras. Gracias a los protocolos, las computadoras de distintos fabricantes se pueden comunicar entre sí y compartir recursos.



PVC. *Permanent Virtual Circuit.* En ATM en una conexión dedicada entre un origen y un destino.

REDUNDANCIA. Funcionalidad mediante la cual se utilizan recursos o elementos de respaldo para asegurar la operación ininterrumpida de un sistema en caso de fallas.

RFC 1483. Especifica la encapsulación de datos multiprotocolo para la transmisión sobre una red ATM. Hace uso de AAL5 en el soporte de PVCs y SVCs. Los dos métodos definidos en esta RFC son multiplexación de VCs y encapsulación LLC/SNAP.

ROUTER. Dispositivo que es capaz de realizar enrutamiento de un paquete desde un origen hasta un destino.

ROUTING. Es el proceso mediante el cual se realiza el envío de un paquete, este se realiza por algoritmos que dependen del protocolo de enrutamiento que se utilice.

RSVP. (Resource Reservation Protocol). Es un protocolo para reserva de recursos en la red para proveer calidad de servicio garantizada a aplicaciones, la cual es usada también para establecer el estado de envío para LSP explícitamente enrutadas.

RSVP-TE. *Resource Reservation Protocol-Tunnelling Extensions.* Extensiones realizadas al protocolo RSVP que permiten además de las funcionalidades básicas, establecer el estado de envío para LSP explícitos en redes MPLS.

SP. *Service Provider.* Proveedor de servicios de Internet, telecomunicaciones o valor agregado.

SUMARIZACIÓN DE RUTAS. Esquema de direccionamiento IP que permite resumir en una sola dirección IP múltiples direcciones que pertenezcan a un rango continuo de direcciones. Esto permite optimizar las tablas de enrutamiento en los routers.

SVC. *Switched Virtual Circuit.* Un enlace virtual con puntos terminales variables, establecido entre una red ATM. Con un SVC el usuario define los puntos terminales cuando se inicia la llamada, después de lo cual se establece el circuito. Requiere de un protocolo de enrutamiento tal y como PNNI.

TCP. (Transmission Control Protocol). Protocolo que es ampliamente usado para el envío de flujos de bytes confiables.

UNICAST. Se refiere a protocolos o dispositivos que transmiten los paquetes de datos de una dirección IP a otra dirección IP.



VBR. *Variable Bit Rate.* En ATM, tráfico con tasas de bit variable, como por ejemplo aplicaciones LAN.

VBR-NRT. *Variable Bit Rate-Non Real Time.* Uno de los dos tipos de servicio VBR, para transmitir tráfico cuando la información de temporización no es crítica (tolerante al retardo). Ejm. Tráfico de datos.

VBR-RT. *Variable Bit Rate-Real Time.* Uno de los dos tipos de servicio VBR, para transmitir tráfico que depende de información de temporización y control. Es apropiado para transmitir tráfico sensible al retardo tal como audio y video paquetizado.

VC. *Virtual Channel.* Es una conexión establecida entre usuarios finales donde los paquetes son enviados a través del mismo camino y el ancho de banda no está permanente asignado, sino que se usa bajo demanda.

VCC. *Virtual Channel Connection.* Es una conexión de extremo a extremo que consiste en la concatenación de dos o más canales virtuales (VC) entre dos puntos finales. Varios VCCs pueden agruparse en un VPC.

VCI. (Virtual Circuit Identifier). Es un campo en el cabecera ATM usado para identificar el circuito virtual al cual una celda pertenece.

VP. *Virtual Path.* Es un grupo de canales virtuales que pueden soportar múltiples circuitos virtuales.

VPC. *Virtual Path Connection.* Es una conexión de extremo a extremo que consiste en dos o más enlaces VP.

VPI. (Virtual Path Identifier). Es un campo en la cabecera ATM usado para identificar la ruta virtual a la cual una celda pertenece.

VPN. (Virtual Private Network). Es un grupo de sitios que, con el resultado de un grupo de políticas administrativas, son capaces de comunicarse con otras sobre un backbone de red compartido.

BIBLIOGRAFIA

- [RFC1577] M. Laubach, "Classical IP and ARP over ATM". Internet Request For Comment nº 1577
- [RFC1633] B. Braden, S. Shenker y D. Clark, "Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview". Internet Request For Comment nº 1633
- [RFC1889] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson, "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications". Internet Request For Comment nº 1889
- [RFC2208] A. Mankin, "Resource ReSerVation Protocol (RSVP) Version 1 Applicability Statement: Some Guidelines on Deployment". Internet Request For Comment nº 2208, IETF RSVP Working Group
- [RFC2211] J. Wroclawski, "Specification of the Controlled-Load Network Element Service". Internet Request For Comment nº 2211, Septiembre de 1997
- [RFC2212] S. Shenker, C. Partridge, R. Guerin, "Specification of Guaranteed Quality of Service". Internet Request For Comment nº 2212
- [RFC2309] B. Branden, "Recommendations on Queue Management and Congestion Avoidance in the Internet". Internet Request For Comment nº 2309
- [RFC2386] "A Framework for QoS-based Routing in the Internet". Internet Request For Comment nº 2386
- [RFC2474] K. Nichols, "Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers". Internet Request For Comment nº 2474
- [RFC2475] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, W. Weiss, "An Architecture for Differentiated Services". Internet Request For Comment nº 2475
- [RFC2543] M. Handley "SIP: Session Initiation Protocol" Internet Request For Comment nº 2543
- [RFC791] J. Postel, "Internet Protocol -DARPA Internet Program Protocol Specification". Internet Request For Comment nº 791
- [H.261] Recomendación ITU-T H.261, "Código de vídeo para servicios audiovisuales a p x 64 Kbit/s". Helsinki, Marzo de 1993.
- [H.320] Recomendación ITU-T H.320 "Narrow-band visual telephone systems and terminal equipment". Marzo 1996.



- [H.323] Recomendación ITU-T H.323 "Packet-based multimedia communications systems". Febrero 1998.
- [H.324] Recomendación ITU-T H.324 "Terminal for low bit rate multimedia communication". Marzo 1996.
- [RFC1242] S. Branner "Bechmarking Terminology for Network Interconnection Devices". Internet Request For Comment nº 1242.
- [RFC2597] J. Heinanen, F. Baker, W. Weiss, J. Wroclawski, "Assured Forwardins
- "An overview of QoS". White Paper. Windows 2000 Server Technical Notes. Microsoft TechNet – December 1999.
- Armitage, "MPLS: The Magic Behind the Myths", IEEE Commnunications Magazine, pp. 124-131 Enero 2004.
- Aurrecochea, A. T. Campbell, L. Hauw, "A survey of QoS architectures". Multimedia systems, ACM Press. Volume 6, No. 3, Mayo 2004.
- Awduche, D. Gan, T. Li, G. Swallow, V. Srinivasan, "Extensions to RSVP for Traffic Engineering, <draft-swallow-mpls-rsvp-trafeng-00.txt>, Agosto 1998.
- Bernet et al., "A Framework for Integrated Services Operation over DiffServ Networks", IETF draft internet-drafts/draft-ietf-issll-diffserv-rsvp-05.txt.
- Black, Uyless. Ip routing protocols. Prentice Hall Series. 2002
- Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davis, Z. Wang and W. Weiss. "An architecture for Differentiated Services", IETF RFC2475
- C. Oliva "QoS en Ethernet: Disciplina de Encolado SCFQ para Conmutador CIF". TFC director J. M. Arco, EP Universidad de Alcalá, Noviembre 1998.
- C.R. Bennett, Donpaul C. Stephens, Hui Zhang, "High Speed, Scalable, and Accurate Implementation of Fair Queueing Algorithms in ATM Networks". ICNP' 2004.
- Callon, N. Feedman, A. Fredette, G. Swallow, A. Viswanathan, "A Framework for Multiprotocol Label Switching". <draft-ietf-mpls-framework-03. txt> Junio de 2004.
- Castelo, "Informe de la gestión de RedIRIS durante el año 2004". RedIris Bulletin, nº 41-42, pp. 5-7, Diciembre 2004.
- Chris, "IP QoS: Traveling in First Class on the Internet". IEEE Internet Computing, pp. 84-88, Marzo-Abril 2004.
- Comer, Douglas E., TCP/IP. Principios básicos, protocolos y arquitectura. Prentice Hall. 2003.



- Cruz, "Quality of Service Guarantees in Virtual Circuit Switched Networks". IEEE Journal of Selected Areas in Communications, Vol. 13, N° 6, pp. 1048-1058, Aug 2001.
- D. E. Comer, "Redes globales de información con Internet y TCP/IP, Principios básicos, protocolos y arquitecturas, tercera edición". Prentice Hall, 2004.
- D. Ferrari and D. Verma, "A scheme for real-time channel establishment in wide-area networks", IEEE Journal on Selected areas in Communications, 8(3):368-379, April 2002
- D. Ferrari, "Design and Applications of a Delay Jitter Control Scheme for Packet-Switching Internetworks", Proceedings of the Second International Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, pp. 72-83, November 1997.
- D. Ferrari, "Distributed Delay Jitter Control in Packet-Switching Internetworks", Journal of Internetworking: Research and Experience, vol. 4, n. 1, pp. 1-20, 2003.
- D. Ferrari, "Real-Time Communication in Packet-Switching Wide-Area Networks". Technical Report TR-89-022. International Computer Science Institute, Berkeley, May 2001
- D. Ferrari, D. Verma, "A scheme for real-time channel establishment in wide-area networks". IEEE JSAC vol. 8 pp. 368-379, Abril 2003.
- D. Hernández, "Control de la calidad del servicio en redes en tiempo real". Memoria trabajo 6 créditos doctorado. Oct. 1998
- D. Stiliadis and A. Varma, "A General Methodology for Designing Efficient Traffic Scheduling and Shaping Algorithms," Proceedings of IEEE INFOCOM '04 Abril 2004.
- D. Stiliadis and A. Varma, "Latency-Rate Servers: A General Model for Analysis of Traffic Scheduling Algorithms" IEEE INFOCOM '04, Marzo 2004.
- D.O. Awduche, "MPLS an Traffic Engineering in IP Networks" IEEE Communications Magazine, pp. 42-47 Diciembre 2004.
- Data Network Engineering Document. Data networking technology handbook. Northern Telecom. 2002.
- Davie, Bruce. Rekhter, Yakov. MPLS technology and applications. Morgan Kaufmann Publishers. 2003.
- Designing MPLS for ATM. Cisco MPLS controller software configuration Guide. 2002



- Dumortier, "Toward a New IP over ATM Routing Paradigm" IEEE Communication Magazine, pp. 82-86 Enero 2004.
- E. Hernández, "Transmisión de datos en tiempo real: Síntesis de protocolos y redes para transmisión en tiempo real". Memoria trabajo 2 créditos doctorado. Jul. 1998
- E. Hernández, J.Vila, "Reserva eficiente de recursos para canales de reserva en redes en tiempo real", II Jornadas de Ingeniería Telemática JITEL'03, Madrid, Sep. 03. Libro de ponencias pp. 11-18.
- E. Rosen, A. Viswanathan, R. Callon, "Multiprotocol Label Switching Architecture". <draft-ietf-mpls-arch-05-txt>
- Ferguson, G. Huston "Quality of Service: Delivering QoS on the Internet and in Corporate Networks". Wiley & Sons, Enero 2000.
- Figueira, J. Pasquale, "Leave-in-time: a new service discipline for real-time communications in a packet-switching network". ACM Communications Architectures and Protocols (SIGCOMM), pp. 207-218 Septiembre 2003.
- G. Armitage, "The Application of Asynchronous Transfer Mode to Multimedia and Local Area Network". PhD. thesis, University of Melbourne, Australia, Enero 2003.
- G. Eichler, H. Hussmann, G. Mamais, C. Prehofer, S. Salsano, "Implementing Integrated and Differentiated Services for the Internet with ATM Networks: A Practical Approach", IEEE Communication Magazine, pp. 132-141 Enero 2004.
- Ghanwani, J. W. Pace, V. Srinivasan, A. Smith, M. Seaman, "A Framework for Integrated Services Over Shared and Switched IEEE 802 LAN Technologies". <draft-ietf-issll-is802-framework-07.txt>, Junio 2004.
- Ginsburg, David. ATM solutions for enterprise internetworking. Addison – Wesley. 1998.
- Global Knowledge. Introduction to frame relay and ATM internetworking. Global Knowledge Network, Inc. 2000.
- <http://www2.cuba.cu/ARIADNA/comision1.html>, Mayo de 2004. Internet Draft. MPLS. July 2000.
- J. Jung, "Quality of Service in Telecommunications Part I: Proposition of a QoS Framework and Its Application to B-ISDN". IEEE Communication Magazine, pp. 108-111 Agosto 2002.
- J. M. Arco, A. Martínez, B. Alarcos, A. García, D. Meziat. "Carrying ATM Cells Over Ethernet". IEEE Euromicro'99, Septiembre 2004



- J. M. Arco, A. Martínez, B. Alarcos, A. García, D. Meziat. "Implementación CIF, ATM sobre Ethernet". Ponencias del Congreso Internacional de Telemática Ariadna 2001.
- J. M. Arco, A. Martínez, B. Alarcos, A. García, D. Meziat. "Implementación de ATM sobre Ethernet para aplicaciones de Teleenseñanza". Actas IV Jornadas de Informática, pp. 459-465, Julio 2003.
- J. M. Arco, A. Martínez, B. Alarcos, A. García, D. Meziat. "Quality of service over Ethernet". Online Educa Berlin, pp. 42-46, 2-4 Diciembre 2001.
- J. M. Arco, A. Martínez, B. Alarcos, D. Meziat. "Quality of service over Ethernet for Telelearning Applications". ACM ITiCSE '99, pp. 68-70, Junio 2004.
- J. M. Arco, B. Alarcos, A. Domingo, "Programación de aplicaciones en redes de comunicaciones bajo entorno Unix". Editado por la Universidad de Alcalá, 2004.
- J. M. McManus and K.W. Ross, "Video-on-Demand Over ATM: Constant-Rate Transmission and Transport". IEEE Journal of Selected Areas in Communications, Vol. 14, Nº 6, pp. 1087-1098, Aug 1996.
- J. McQuillan, "Convergencia de routes y conmutadores". Global Communication, No. 10, pp. 42-43, January 1998.
- J. Nagle "On Packet Switches with Infinite Storage". IEEE Transactions on Communications, Vol. Com-35 No4, pp. 435-438, Abril 1987.
- J. Rusell, capítulo "Multimedia Networking Performance Requirements", del libro "ATM Networks". Editores I. Viniotis and R.O. Onvural, Plenum. pp. 187-198.
- J.M. Huidobro, Redes y Servicios de telecomunicaciones. Ed. Paraninfo, 1999.
- Kalmanek, H. Kanakeia, S. Keshav, "Rate controlled servers for very high-speed networks". IEEE Global Telecommunication, pp. 300.3.1-300.3.9, Diciembre 1990.
- Kenjiro "A Framework for Alternate Queueing: Towards Traffic Management by PC-UNIX Based Routers". Proceedings of USENIX 1998
- Kleinrock, "Queueing Systems, Vol. 2: Computers Applications". Wiley 1976.
- Kuo, W. Effelsbeg, J. Garcia-Luna-Aceves "Multimedia Communications, Protocols and Applications". Prentice Hall, 1998
- M. Hall, M. Bickford, "Winsock2: The New Face of Networked Applications". Data Communications, Marzo 2004.
- M. Katevenis, S. Sidiropoulos, C. Courcoubetis, "Weighted Round-Robin Cell Multiplexing in a General-Purpose ATM Switch Chip". IEEE JSAC vol. 9 No.8 pp. 1265-1279, Octubre 1991.



- M. Shreedhar, G. Varghese, "Efficient Fair Queuing using Deficit Round Robin". SIGCOMM '95 Conf. ACM, pp. 231-243
- M. W. Garret, "A service Architecture for ATM: From Applications to Scheduling", IEEE Network, pp. 6-14 Mayo/Julio 2004.
- Moreno "Propuesta de arquitectura de redes de banda ancha para servicios de telecomunicación de trabajo cooperativo". Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2004.
- N. Greene, M. A. Ramalho, B. Rosen, "Media Gateway control protocol architecture and requirements" <draft-ietf-megaco-reqs-10.txt> Enero 2004.
- N.A. Nikolaou, G Rigolio, A Casaca, N. Ciulli, G Stassinopoulos, "PETERPAN: Integration of IP and ATM for QoS and Multimedia Services Support". Next Generation Networks in Europe, From ATS to IST. Editado por ACTS Project InfoBrigde, 2000.
- Nichols, Blake, Baker and Black "Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and the IPv6 Headers", IETF RFC 2474, Dec.1998
- Nichols, V. Jacobson and L. Zhang. "A Two-bit differentiated Services Architecture for the Internet". IETF RFC2638, Jul. 1999.
- Nortel Networks. Manuales de passport 7480. 2003.
- P. Goyal, H.M. Vin, and H. Cheng, "Start-time Fair Queuing: A Scheduling Algorithm for Integrated Services Packet Switching Networks". IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 5, No. 5, pp. 690-704, Octubre 2004
- P. Goyal, H.M. Vin, and H. Cheng, "Start-time Fair Queuing: A Scheduling Algorithm for Integrated Services Packet Switching Networks". Proceedings of ACM SIGCOMM'96, pp. 157-168, Agosto 2004.
- P. Lambert, D. Bushaus "Viajar en primera clase". Global Communications, pp. 44-50, Noviembre de 1998.
- PHB Group". Internet Request For Comment nº 2597
- R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S.Herzog and S. Jamin : "Resource Reservation Protocol (RSVP). Versión 1 Functional Specification.Internet RFC 2205
- R. Steinmetz, "Human Perception of Jitter and Media Synchronization". IEEE Journal on Selected Areas of Communications Vol. 14 No. 1 pp. 61-72 2004
- R.Braden, D.Clark, S.Shenker, "Integrated services in the Internet Architecture : An Overview". Internet RFC 1633



- RFC2598] V. Jacobson, K. Nichols, K. Poduri, "An Expedited Forwarding PHB". Internet Request For Comment nº 2598
- S. Floyd, V. Jacobson, "Link Sharing and Resource Management Models for Packet Networks". IEEE/ACM Transaction on Networking, Vol. 3, No. 4, pp. 365-386, Agosto 2004
- S. Floyd, V. Jacobson, "Random Early Detection gateways for Congestion Avoidance". IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 1 No. 4, pp. 397-413, Agosto 2003.
- S. Golestani, "A self-clocked fair queuing scheme for broadband applications". Proceeding of the IEEE INFOCOM'94, pp. 636-646, Junio 2003.
- S. Golestani, "A stop-and-go queueing framework for congestion management". SIGCOMM'90 Symposium, Communications Architecture and Protocols, Philadelphia, pp. 8-18, Septiembre 2003.
- Stalling, "Local & Metropolitan Area Networks, Fifth Edition". Prentice Hall, 1997.
- V.S. Frost and B. Melamed, "Traffic Modeleling For Telecommunications Networks", IEEE Communications Magazine, March 1994, pp. 70-81.
- Y. Bernet, R. Yavatkar, P. Ford, F. Baker, L. Zhang, K. Nichols, M. Speer, R. Braden, "Interoperation of RSVP/Int-Serv and Diff-Serv Networks". <draft-ietf-diffserv-rsvp-02.txt>, Febrero de 1999.
- Y. Ohba, "QLWFQ: A Queue Length Based Wighted Fair Queueing Algorithm in ATM Networks". IEEE INFOCOM '97, Abril 1997
- <http://www.te.ipn.mx>
- <http://www.convergedigest.com>
- <http://www.ietf.com>
- <http://www.cisco.com>
- <http://forums.cisco.com>
- <http://www.iec.org>
- <http://www.atmforum.com>
- <http://www.qosforum.com>.