

# **CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA**



DIVISIÓN DE FÍSICA APLICADA

DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

## **ANÁLISIS Y MODELADO DE MECANISMOS DE SERVICIOS DIFERENCIADOS (DIFFSERV) PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE REDES CON CALIDAD DE SERVICIO (QoS)**

**TESIS**

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para  
obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS presenta:

**XÓCHITL GABRIELA CABALLERO CÁRDENAS**

Ensenada Baja California, México. Agosto 2002.

# **D**EDICATORIA

## **A MI MADRE**

Por tu apoyo al permitirme volar hacia un mundo nuevo, por tu paciencia y sobre todo por tu confianza y sabios consejos. Te amo mami, eres mi ejemplo a seguir.

## **A MI PADRE**

Por la fuerza de voluntad que sin querer sembraste en mi  
para alcanzar cada una de mis metas.

## **A MI HERMANITO**

Por los bellos recuerdos que llevo en mi corazón de nuestra infancia.  
Porque a pesar de la poca comunicación se que me amas tanto como yo a ti.

## **A MI PRECIOSA**

Porque tu imagen representó un símbolo de motivación para no darme por vencida  
en este largo camino y porque me siento orgullosa de ser hermana  
de la niña mas hermosa y dulce. Te amo chiquita.

## **A DIOS**

Por darme la oportunidad de experimentar una vez mas que la vida es de aquellos  
que saben confrontar las adversidades del camino.

# AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis Raúl Tamayo Fernández, por su apoyo y dedicación.  
Por confiar en mí durante la realización de este proyecto de investigación.

A mi comité de Tesis: Dr. José Rosario Gallardo, M.C. Jorge Preciado, Dr. Pedro Negrete y  
M.C. Raúl Rivera, por las observaciones que hicieron durante los avances.

Al Dr. José Rosario ya que gracias a su ayuda pude resolver un problema  
que me hubiera llevado días entender. Gracias por las excelentes observaciones a la tesis.

A todos mis profesores, por los conocimientos adquiridos durante la impartición de los cursos.

## **A MIS COMPAÑEROS TELECOS 2000:**

**Alex (chiquilin)**, por hacer tan amenas las noches de desvelo y por las getillas reponedoras.

**Jorge**, por la amistad y los buenos momentos.

**Juan**, por brindarme tu amistad sincera y por los buenos consejos.

**Meche**, por escucharme y por aquellas largas charlas en la cocina.

**Miriam**, por soportar mi mal genio y por las buenas parrandas que disfrute en tu compañía.

**Toño**, por tu apoyo y por darme la oportunidad de ser tu amiga.

**Yuki**, por darme consuelo en los momentos que más triste me sentí.

Gracias porque juntos formamos una gran familia y pasamos momentos inolvidables.

A mis compañeros controleros: Hazael, Manuel, Víctor Gradilla y Carlos Agis, a mis compañeros  
ópticos: Carlos Torres, Hiram, Héctor y Víctor Valles y a mis compañeros microonderos: Alex  
(Magic) y Eleazar, por el apoyo que me brindaron, los buenos consejos y  
por lo bellos momentos que compartimos juntos.

A mis amigos: Miguel, Moisés, Ulises y Braulio, por sus buenos consejos,  
por su preocupación y por estar siempre pendiente de mí.

A mi gran amiga Getsy, por darme el placer de conocerte, porque sin tu amistad mi estancia en Ensenada no hubiera sido tan placentera y por que para mi eres como una hermana. Te quiero mucho.

A mis amigas: Karina, Mabel, Andrea y Mayrita, por su compañía, por su amistad y cariño. Por los momentos tan amenos que pasamos juntas y por permitirme formar parte de su vida.

A mis hermanas: Almita y Akira, porque a pesar de la distancia siempre recibí su apoyo incondicional, porque sus correos alegraban mi día y los hacían menos difíciles.

A toda mi familia de Querétaro, porque siempre confiaron en mi y nunca dejaron de apoyarme.

Al CICESE por brindar la oportunidad a jóvenes con deseos de superación.

A CONACYT por el apoyo económico recibido para seguir con mis estudios.

*POR SIEMPRE A LAS TRES ESTRELLAS QUE ILUMINAN MI CAMINO:*

***TERESA, ANDREA Y GABRIEL.***

# CONTENIDO

## I. INTRODUCCIÓN

1

### I.1 MOTIVACIÓN O JUSTIFICACIÓN

1

### I.2 OBJETIVOS

3

### I.3 MATERIALES Y MÉTODOS

3

### I.4 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

4

## II. CALIDAD DE SERVICIO (QoS)

6

### II.1 INTRODUCCIÓN

6

### II.2 ¿QUÉ ES CALIDAD DE SERVICIO?

7

### II.3 PARÁMETROS DE CALIDAD DE SERVICIO (QoS)

9

### II.4 ASIGNACIÓN DE RECURSOS

11

### II.5 SERVICIOS INTEGRADOS (INTSERV)

13

### II.6 SERVICIOS DIFERENCIADOS (DIFFSERV)

16

## III. SERVICIOS DIFERENCIADOS (DIFFSERV)

18

### III.1 INTRODUCCIÓN

18

<b>III.2 SERVICIOS DIFERENCIADOS</b>	
<b>19</b>	
<b>III.3 Dominio DiffServ (DS)</b>	
<b>21</b>	
<b>III.4 Comportamiento PHB</b>	
<b>22</b>	
III.4.1 ENVÍO EXPEDITO (EF PHB)	
<b>23</b>	
III.4.2 Envío Asegurado (AS PHB)	
<b>24</b>	
<b>III.5 Tipos de Servicios</b>	
<b>24</b>	
III.5.1 SERVICIO PREMIUM	<b>24</b>
III.5.2 SERVICIO ASEGURADO	
<b>25</b>	
<b>III.6 Arquitectura DiffServ</b>	
<b>26</b>	
<b>III.7 Mecanismos para el Diseño de Enrutadores DiffServ</b>	
<b>28</b>	
III.7.1 CLASIFICADORES	
<b>29</b>	
III.7.2 MEDIDOR Y MARCADOR	
<b>29</b>	
III.7.3 DESCARTADOR	
<b>31</b>	
III.7.4 ACONDICIONAMIENTO	
<b>35</b>	

## **C**ONTENIDO (CONTINUACIÓN)

<b>III.8 PROPUESTA DE ENRUTADORES DIFFSERV</b>	
<b>36</b>	
III.8.1 CLASIFICADOR BA	
<b>36</b>	
III.8.2 MARCADOR Y MEDIDOR trTCM	
<b>38</b>	
III.8.3 MECANISMOS DE DESCARTE	
<b>40</b>	
III.8.4 ACONDICIONADOR LEAKY BUCKET	
<b>43</b>	

44 III.8.5 ENRUTADORES DE FRONTERA Y NÚCLEO DIFFSERV

## **IV. IMPLEMENTACIÓN DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN**

47

IV.1 INTRODUCCIÓN

47

IV.2 MODELO DE RED

48

IV.3 MODELO DE NODOS

49

IV.3.1 MODELO DE NODOS GENERADORES DE TRÁFICO

49

IV.3.2 MODELO DE NODO PARA ENRUTADORES DE FRONTERA DIFFSERV

49

IV.3.3 MODELO DE NODO PARA ENRUTADORES DE NÚCLEO DIFFSERV

51

IV.3.4 MODELO DE NODO PARA RECEPCIÓN DE TRÁFICO Y CAPTURA DE ESTADÍSTICAS

51

IV.4 MODELO DE PROCESOS

52

IV.4.1 MODELO DE PROCESO PARA EL CLASIFICADOR BA

52

IV.4.2 MODELO DE PROCESO PARA EL MECANISMO trTCM

53

IV.4.3 MODELO DE PROCESO PARA EL MECANISMO WRED

55

IV.4.4 MODELO DE PROCESO PARA EL MECANISMO PWFQ

58

IV.4.4 MODELO DE PROCESO PARA EL MECANISMO LEAKY BUCKET

60

## **V. RESULTADOS Y ANÁLISIS NUMÉRICO**

63



	<b>V.1 INTRODUCCIÓN</b>	
63		
	<b>V.2 PARÁMETROS DE SIMULACIÓN</b>	
63		
	<b>V.3 OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS SATISFACTORIOS PARA EL SISTEMA DE SERVICIOS DIFERENCIADOS</b>	
66		
	<b>V.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	
70		
	V.4.1 RETARDO EXTREMO A EXTREMO	
70		
	V.4.2 VARIACIÓN DEL RETARDO	
72		
	V.4.3 PROBABILIDAD DE PÉRDIDA DE PAQUETES	
73		
	V.4.4 CAUDAL EFICAZ	
75		
	<b>V.5 COMPARACIÓN ENTRE MEJOR ESFUERZO, INTSERV Y DIFFSERV</b>	<b>76</b>
	V.5.1 VOZ	
76		
	V.5.1.1 RETARDO EXTREMO A EXTREMO	
76		
	V.5.1.2 VARIACIÓN DEL RETARDO	
77		

## CONTENIDO (CONTINUACIÓN)

	V.5.1.3 PROBABILIDAD DE PÉRDIDA DE PAQUETES	
79		
	V.5.2 VIDEO	
80		
	V.5.2.1 RETARDO EXTREMO A EXTREMO	
80		
	V.5.2.2 VARIACIÓN DEL RETARDO	
81		
	V.5.2.3 PROBABILIDAD DE PÉRDIDA DE PAQUETES	
82		
	V.5.3 DATOS	
83		
	V.5.3.1 RETARDO EXTREMO A EXTREMO	
83		
	V.5.3.2 VARIACIÓN DEL RETARDO	
85		

86

## **VI. CONCLUSIONES**

89

### **VI.1 CONCLUSIONES**

89

### **VI.2 APORTACIONES**

92

### **VI.3 RECOMENDACIONES**

92

### **VI.4 TRABAJOS FUTUROS**

93

## **BIBLIOGRAFÍA**

94

## **APÉNDICE A. MODELOS DE TRÁFICO**

97

### **A.1 INTRODUCCIÓN**

97

### **A.2 MODELO PARA FUENTE DE VOZ**

97

### **A.3 MODELO PARA FUENTE DE VIDEO**

99

### **A.4 MODELO PARA FUENTE DE DATOS**

99

#### **A.4.1 MODELO PARA FUENTE DE FTP**

102

#### **A.4.2 MODELO PARA FUENTE DE WWW**

103

#### **A.4.3 MODELO PARA FUENTE DE SMTP**

104

## **GLOSARIO**

106

# LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.-** Implementación Básica de Calidad de Servicio (QoS).

8

**Figura 2.-** Arquitectura de Servicios Integrados.

14

**Figura 3.-** Encabezados IPv4 e IPv6 y Código DS.

19

**Figura 4.-** Dominio DiffServ.

22

**Figura 5.-** Arquitectura de Servicios Diferenciados.

26

**Figura 6.-** Clasificación del tráfico de entrada.

29

**Figura 7.-** Medidor Token Bucket (TB).

30

**Figura 8.-** Mecanismo RED.

32

**Figura 9.-** Mecanismo WRED.

33

**Figura 10.-** Mecanismo PQ (Priority Queuing).

34

**Figura 11.-** Mecanismo WFQ.

34

**Figura 12.-** Mecanismo de control Leaky Bucket.

35

**Figura 13.-** Campo ToS del encabezado IP.

36

**Figura 14.-** Medidor y Marcador trTCM.

38

<b>Figura 15.-</b> Mecanismo WRED.	
40	
<b>Figura 16.-</b> Calendarizador PWFQ.	
43	
<b>Figura 17.-</b> Arquitectura de 2-bits para enrutadores DiffServ.	
44	
<b>Figura 18.-</b> Enrutador de frontera DiffServ.	
45	
<b>Figura 19.-</b> Enrutador de núcleo DiffServ.	
46	
<b>Figura 20.-</b> Dorsal de Internet 2 México.	47
<b>Figura 21.-</b> Modelo de red.	
48	
<b>Figura 22.-</b> Modelo de nodos generadores tráfico.	
49	
<b>Figura 23.-</b> Modelo de nodo para enrutadores de frontera DiffServ.	
50	
<b>Figura 24.-</b> Modelo de nodo para enrutadores de núcleo DiffServ.	
51	
<b>Figura 25.-</b> Modelo de nodo para recepción de tráfico y captura de estadísticas.	
52	
<b>Figura 26.-</b> Modelo de proceso para el clasificador BA.	
52	
<b>Figura 27.-</b> Diagrama de flujo del clasificador BA.	
53	
<b>Figura 28.-</b> Modelo de proceso para el mecanismo trTCM.	
54	

## LISTA DE FIGURAS (CONTINUACIÓN)

**Figura 29.-** Diagrama de flujo del mecanismo trTCM.

55

**Figura 30.-** Modelo de proceso para el mecanismo WRED.

55

**Figura 31.-** Diagrama de flujo para el mecanismo WRED.

57

**Figura 32.-** Diagrama de flujo para el estado de Servicio de WRED.

57

**Figura 33.-** Modelo de proceso para el mecanismo PWFQ.

58

**Figura 34.-** Diagrama de flujo para el mecanismo PWFQ.

59

**Figura 35.-** Diagrama de flujo para el estado de Servicio de PWFQ.

60

**Figura 36.-** Diagrama de proceso para el mecanismo Leaky Bucket.

60

**Figura 37.-** Diagrama de flujo para el mecanismo Leaky Bucket.

61

**Figura 38.** Total de paquetes generados por servicio.

65

**Figura 39.** Modelo de red para validación de Servicios Diferenciados.

67

**Figura 40.** Retardo extremo a extremo para Servicios Diferenciados.

71

**Figura 41.** Variación de Retardo para Servicios Diferenciados.

72

**Figura 42.** Probabilidad de Pérdida de Paquetes para Servicios Diferenciados.

74

**Figura 43.** Caudal Eficaz para Servicios Diferenciados.

75

**Figura 44.** Comparación entre Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios

Diferenciados en base al retardo extremo a extremo para voz.

44

**Figura 45.** Comparación entre Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados en base a la variación del retardo para voz.

78

**Figura 46.** Comparación entre Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados en base a la probabilidad de pérdida de paquetes para voz.

79

**Figura 47.** Comparación entre Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados en base al retardo extremo a extremo para video.

80

**Figura 48.** Comparación entre Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados en base a la variación del retardo para video.

81

**Figura 49.** Comparación entre Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados en base a la probabilidad de pérdida de paquetes para video.

83

## LISTA DE FIGURAS (CONTINUACIÓN)

**Figura 50.** Comparación entre Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados en base al retardo extremo a extremo para datos.

84

**Figura 51.** Comparación entre Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados en base a la variación del retardo para datos.

85

**Figura 52.** Comparación entre Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados en base a la probabilidad de pérdida de paquetes para datos.

87

**Figura 53.** Diagrama de transición de estados para el modelo ON-OFF.

98

**Figura 54.** Modelo ON-OFF usado para la implementación de fuentes generadoras de tráfico FTP.

103

**Figura 55.** Modelo ON-OFF usado para la implementación de fuentes generadoras de tráfico WWW.

104

**Figura 56.** Gráfica con comportamiento bimodal para la generación de tráfico SMTP.

105

## LISTA DE TABLAS

**Tabla I.** Mecanismos empleados en el diseño de un enrutador DiffServ.

36

**Tabla II.** Parámetros de Calidad de Servicio para cada bit del campo ToS.

37

**Tabla III.** Clasificación de acuerdo al tipo de servicio y de la aplicación.

37

**Tabla IV.** Tasa de generación de tráfico para cada servicio.

64

**Tabla V.** Condiciones de tráfico para cada escenario de simulación.

64

**Tabla VI.** Parámetros de configuración para el trTCM.

67

**Tabla VII.** Resultados obtenidos en base a la variación de tiempo sobre la ventana deslizante.

69

**Tabla VIII.** Valores permitidos de los parámetros de calidad de servicio donde se garantiza el buen desempeño de los servicios.

70

**RESUMEN** de la Tesis de **Xóchitl Gabriela Caballero Cárdenas**, presenta como requisito parcial para la obtención del grado de **MAESTRO en CIENCIAS en ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**. Ensenada, Baja California, México Agosto de 2002.

## **ANÁLISIS Y MODELADO DE MECANISMOS DE SERVICIOS DIFERENCIADOS (DIFFSERV) PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE REDES CON CALIDAD DE SERVICIO (QoS).**

Resumen aprobado por:

---

M.C. Raúl Tamayo Fernández  
Director de Tesis

La integración de los servicios de voz, video y datos sobre la Internet, así como el acelerado crecimiento del número de usuarios que hace uso de este servicio, crea la necesidad de implementar niveles de Calidad de Servicio sobre las aplicaciones, para brindar un servicio con calidad al usuario. Estos niveles de Calidad de Servicio se basan en restricciones que se tienen sobre los valores de retardo, variación del retardo y pérdida de paquetes, los cuales difieren entre una aplicación y otra.

Inicialmente la Internet se basó en el mecanismo de Mejor Esfuerzo, este prototipo no hace distinción alguna sobre las aplicaciones que circulan dentro de una red, por ello la comunidad en Internet realiza un estudio para la implementación de prototipos que ofrezcan Calidad de Servicio, creando de este modo los protocolos de Servicios Integrados y Servicios Diferenciados.

Este trabajo de investigación se basó en un estudio bibliográfico, el modelado y la simulación del mecanismo de Servicios Diferenciados. DiffServ se basa en una arquitectura que incluye cuatro bloques: *clasificador*, *medidor*, *marcador* y *descartador/acondicionador*. Basándose en esta arquitectura, para la simulación se realizó el modelo de nodo mediante el simulador OPNET, el cual incluye los cuatro bloques de la arquitectura, se usó el modelo de red de Internet 2 México con aplicaciones de voz, video y datos. Los resultados obtenidos de retardo, variación de retardo y pérdida de paquetes se compararon con los niveles permitidos para las aplicaciones de voz, video y datos. Así mismo, los resultados fueron comparados con los obtenidos de una tesis anterior para el protocolo de Mejor Esfuerzo y Servicios Integrados.

Del análisis de resultados se concluyó que Servicio Diferenciados es otra alternativa para la implementación de redes con Calidad de Servicio ya que garantiza la utilidad del enlace a un 100%, permaneciendo dentro de los límites permitidos para las aplicaciones de voz, video y datos, por ello supera las prestaciones ofrecidas por el mecanismo de Mejor Esfuerzo ya que este solo garantiza Calidad de Servicio hasta antes de llegar al nivel de congestión en los enlaces (el cual ocurre mucho antes de alcanzar la capacidad máxima de los mismos).

Palabras Clave: Calidad de Servicio, Servicios Diferenciados, DiffServ.



**ABSTRACT** of the Thesis of **Xóchitl Gabriela Caballero Cárdenas**, presented as a partial requirement to obtain the **MASTER in SCIENCE** degree in **ELECTRONIC AND TELECOMMUNICATIONS**. Ensenada, Baja California, México August 2002.

## **ANÁLISIS Y MODELADO DE SERVICIOS DIFERENCIADOS (DIFFSERV) PARA IMPLEMENTAR REDES DE TELECOMUNICACIONES CON CALIDAD DE SERVICIO (QoS)**

Approved by:

---

M.S. Raúl Tamayo Fernández

The integration of the services of voice, video and data on the Internet, as well as the accelerated growth of the number of users whom use does of this service, creates the necessity to implement quality of service levels on the applications, to offer a service quality to the user. These quality of service levels are based on restrictions that are had on the values of delay, jitter and probability loss rate, which defer between an application and another one.

Initially the Internet was based on the mechanism of Best Effort, this prototype does not make distinction over the applications that circulate within a network, for that reason the community in Internet makes a study for the implementation of prototypes that offer Quality of Service, creating this way the protocols of Integrated Services and Differentiated Services.

This work of investigation was based on a bibliographical study, modeled and the simulation of the mechanism of Differentiated Services. DiffServ is based on an architecture that includes four blocks: classifier, measurer, marker and dropper/shaper. Being based on this architecture, for the simulation the model of node by means of the simulator OPNET was made, which includes the four blocks of the architecture, use the model of network of Internet 2 Mexico with applications of voice, video and data. The results obtained from delay, jitter and probability loss rate were compared with the levels allowed for the applications of voice, video and data. Also, the results were compared with obtained of a previous thesis for the protocol of the Best Effort and Integrated Services.

Of the analysis of results one concluded that Differentiated Service is another alternative for the implementation of networks with Quality of Service since guarantees the utility of the connection to a 100%, remaining within the limits allowed for the applications of voice, video and data, for that reason surpasses the benefits offered by the mechanism of Best Effort since this single one guarantees Quality of Service until before arriving at the level of congestion in the connections (which happens long before reaching the maxim capacity of such).

Key words: Differentiated Services, Quality of Service, DiffServ.

## IV. INTRODUCCIÓN.

Hasta hace apenas una década, cada una de las redes de telecomunicaciones estaba orientada a soportar un solo tipo de servicio, de forma tal que existía una red de servicios conmutados para telefonía, una red para el transporte de datos, etc. Fue en los años noventas, con la globalización de Internet, que los usuarios comenzaron a demandar nuevos servicios sobre una sola red. De este modo, las redes demandan el soporte de múltiples tipos de tráfico sobre un mismo enlace, lo que ocasiona que diferentes tipos de tráfico demanden diferente tratamiento por parte de la red.

Al no contar con diferentes conexiones para cada usuario de la red y para cada servicio, las redes deben ser diseñadas de forma que:

- 1.- Puedan entregar múltiples clases de servicios.
- 2.- Sean escalables, lo que significa que no requieran de cambios drásticos para proveer el desempeño deseado.
- 3.- Puedan soportar intensidad de tráfico emergente, aplicaciones de misión crítica.

El hecho de que los servicios de telecomunicaciones requieran que la administración de sus recursos cumpla con altos niveles de desempeño, da pie a la investigación y la implementación de mecanismos que permitan brindar diferentes niveles de Calidad de Servicio (QoS, Quality of Service).

Este nuevo concepto de Calidad de Servicio es descrito en la recomendación ITU E.800 como: “El efecto colectivo del desempeño del servicio, el cual determina el grado de satisfacción de un usuario en base a un servicio solicitado”.

## **I.1 MOTIVACIÓN O JUSTIFICACIÓN.**

El concepto de Calidad de Servicio fue introducido por las redes ATM, que fueron diseñadas para ofrecer servicios a diferentes tipos de tráfico, a diferencia de Internet, que nació como una red para la transmisión de datos según el modelo de mejor esfuerzo. Sin embargo, la IETF (Internet Engineering Task Force) ha propuesto, a través de diferentes equipos de trabajo, arquitecturas que permitan brindar Calidad de Servicio en Internet. Cada arquitectura define nuevos elementos y conceptos de forma tal que no sea necesario hacer cambios sobre la arquitectura actual, más bien, agregar nuevos elementos.

Los protocolos de Calidad de Servicio usan una variedad de mecanismos complejos para habilitar la entrega de datos entre dos usuarios. Las redes basadas en el protocolo IP (Internet Protocol), por omisión proveen la entrega de datos con el "Mejor Esfuerzo" (Best Effort). Este mecanismo ofrece el servicio cuando puede y como puede, afectando severamente al retardo, la variabilidad en el retardo y la pérdida de paquetes, parámetros importantes sobre todo en aplicaciones en tiempo real como videoconferencia, voz sobre IP, aplicaciones multimedia, entre otras.

Sin embargo, las redes modernas han aumentado su demanda en ancho de banda, desempeño y flexibilidad, para soportar los servicios y aplicaciones existentes y futuros. Estas demandas no han sido del todo cumplidas por los proveedores de servicios de Internet, principalmente por la falta de los mecanismos y capacidades que les permitan cumplir cabalmente con estos requerimientos.

Es por ello que actualmente se realiza investigación sobre mecanismos que habiliten la implementación de redes que ofrezcan calidad de servicio a las aplicaciones críticas y demandantes de ancho de banda. La arquitectura de Servicios Diferenciados (DiffServ) provee un mecanismo de control del ancho de banda dentro de los enrutadores, clasificando el tráfico basado en diferentes tipos de servicios.

De aquí se desprende la principal motivación para el desarrollo de este trabajo de investigación, el cual consiste en evaluar el mecanismo de Servicios Diferenciados (DiffServ) propuesto por la IETF en el RFC 2475 como una alternativa para brindar Calidad de Servicio para aplicaciones de video, voz y datos sobre Internet.

DiffServ requiere que los enrutadores de frontera clasifiquen los flujos de tráfico dentro de un conjunto de categorías, basadas en campos del encabezado TCP/IP.

DiffServ utiliza un campo estándar de 8 bits dentro del encabezado IPv4 ó IPv6 para indicar el resultado de la clasificación. Como DiffServ está presente en cada paquete IP, cada nodo puede proveer servicios diferenciados.

Esta tesis abarca una amplia investigación sobre este mecanismo (DiffServ) y sus propiedades para ofrecer Calidad de Servicio a aplicaciones sensibles a parámetros como caudal eficaz, retardo, y paquetes perdidos.

## **I.2 OBJETIVOS.**

Realizar un análisis teórico del mecanismo de Servicios Diferenciados para su implementación en redes de telecomunicaciones que requieran Calidad de Servicio, de manera que se cumpla con las demandas de aplicaciones sensibles a parámetros tales como caudal eficaz, retardo y pérdida de paquetes.

Simular los mecanismos de Servicios Diferenciados a través del software OPNET Modeler, con aplicaciones específicas de voz, video y datos, para obtener los parámetros de operación satisfactorios de los mecanismos.

Realizar la validación de los resultados obtenidos con el simulador OPNET y hacer una comparación con los resultados de los mecanismos de Mejor Esfuerzo y de Servicios Integrados, derivados de una tesis desarrollada anteriormente en el Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones del CICESE [Héctor Cruz, 2001].

## **I.3 MATERIALES Y MÉTODOS.**

### **Materiales.**

- Acceso a biblioteca CICESE y UCSD.
- Acceso a Internet.
- Equipo de cómputo.
- Simulador OPNET Modeler.
- Software diverso (Origin, Word, PowerPoint, Netscape, etc.)

## **Métodos.**

1. Investigación Bibliográfica.
2. Estudio del software de simulación OPNET Modeler.
3. Investigación bibliográfica específica de cada mecanismo de la arquitectura DiffServ.
4. Definición de los modelos para los mecanismos a simular.
5. Simulación de los Modelos.
6. Análisis de los Resultados.
7. Validación de Resultados.
8. Obtención de parámetros de operación satisfactorios para cada mecanismo.
9. Análisis Comparativo con el mecanismo de Mejor Esfuerzo y Servicios Integrados.
10. Obtención de Conclusiones.

## **I.4 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS.**

Esta tesis se encuentra organizada de la siguiente manera:

En el Capítulo II se define el concepto de Calidad de Servicio, así como los parámetros que miden el cumplimiento de Calidad de Servicios sobre redes. Dichos parámetros serán analizados en los siguientes capítulos.

En el Capítulo III se describe detalladamente el concepto de Servicios Diferenciados, la arquitectura propuesta por la IETF y los posibles mecanismos que se pueden implementar en cada bloque de dicha arquitectura. También se presentan los mecanismos propuestos para la implementación de Servicio Diferenciados mediante el simulador OPNET Modeler y se explican los parámetros que se deben tomar en cuenta para su configuración.

El Capítulo IV presenta el modelo de simulación utilizado para la implementación de DiffServ y se describen de manera básica la forma en que fueron programados en OPNET, cada uno de los mecanismos propuestos en el capítulo III.

En el Capítulo V se presenta un análisis numérico en base a los resultados obtenidos de la simulación y se hace una comparación entre los modelos Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados.

Finalmente, el Capítulo VI presenta las conclusiones, recomendaciones, aportaciones y posibles trabajos futuros que se derivan de esta tesis.

## VII. CALIDAD DE SERVICIO (QoS).

### II.1 INTRODUCCIÓN.

La Internet actual tiene sus inicios en una red de datos experimental llamada ARPANET (*Advanced Research Projects Agency Network*), fundada por DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*) en 1960, teniendo como principal objetivo ofrecer una red robusta a ataques militares. ARPANET se construye en base al modelo de datagramas, donde cada paquete es transmitido de manera independiente a su destino.

Por algunos años la Internet fue usada principalmente por científicos, para la investigación de redes y el intercambio de información, donde aplicaciones como: acceso remoto, transferencia de archivos y correo electrónico, formaban parte del tráfico de dicha red, para las cuales el modelo de datagramas trabajaba muy bien.

El modelo de datagramas posee pocas capacidades en cuanto a la gestión de los recursos dentro de una red y, por lo tanto, no puede otorgar ninguna garantía sobre el buen uso de los recursos de una red para los usuarios. Con la llegada de WWW (World Wide Web) a la Internet, se crean nuevas aplicaciones, como: videoconferencia, investigación vía red, multimedia, foros de discusión y telefonía por Internet. Para aplicaciones en tiempo real, como lo es la videoconferencia, se requiere de niveles mínimos sobre el uso de los recursos de la red, con la finalidad de que dicha aplicación pueda ser ofrecida de una manera eficiente, para ello es necesaria la implementación de nuevos métodos que posean la capacidad de ofrecer estos servicios a los usuarios con la mayor calidad posible.

Otro reto importante es la implementación de una diferenciación de servicios, ya que la Internet trata a todos los paquetes de una misma forma. Es decir, sólo se puede ofrecer un único nivel de servicio. Sin embargo, cada aplicación demanda diferentes niveles de recursos. Por ejemplo, aplicaciones de telefonía que son sensibles al retardo y a la pérdida de paquetes, una



vez que se exceden los niveles máximos que puede soportar dicha aplicación esta comienza a ser deficiente. En contraste, una transferencia de archivos puede tolerar retardos sin degradarse tanto. De este modo, tenemos que los requerimientos de los clientes varían dependiendo del uso o aplicaciones que le demanden a la Internet. Por otro lado, para la mayoría de los proveedores de Internet, el ofrecer múltiples niveles de servicios hacia sus clientes es un requisito de vital importancia para el éxito de su negocio.

La capacidad de asegurar los recursos para una aplicación, así como otorgar diferentes niveles de servicio dentro de una red se conoce como **Calidad de Servicio (QoS)**. La implementación de QoS sobre Internet ha sido uno de los retos mas importantes a tomar en cuenta y ha ido evolucionando con el paso del tiempo, teniendo siempre en mente casi todos los aspectos de las tecnologías sobre Internet y los cambios requeridos sobre la arquitectura básica del mismo.

## II. 2 ¿QUÉ ES CALIDAD DE SERVICIO?

La calidad de servicio encierra propiedades de una red, sin embargo el término de calidad describe el proceso de la entrega de datos de una manera confiable e incluso mejor que lo normal. Este método incluye aspectos de pérdidas de paquetes y retardos, las cuales deben ser mínimas o casi nulas. También debe tener la capacidad para determinar el uso más eficiente de los recursos de la red, como puede ser la repartición de ancho de banda o la asignación de espacio en las colas. Calidad puede definir características particulares sobre las aplicaciones de un protocolo de red determinado.

La palabra servicio se enfoca a la forma de organización de una empresa, en cuanto a su estructura, aunque generalmente servicio se describe como la oferta de algunas aplicaciones hacia los usuarios finales. A este tipo de comunicaciones se les conoce como comunicaciones de extremo a extremo o aplicaciones entre cliente y servidor. Los servicios abarcan una gama muy grande de aplicaciones, como lo son: correo electrónico, videoconferencia, buscadores de red, cuartos de Chat, entre otras.

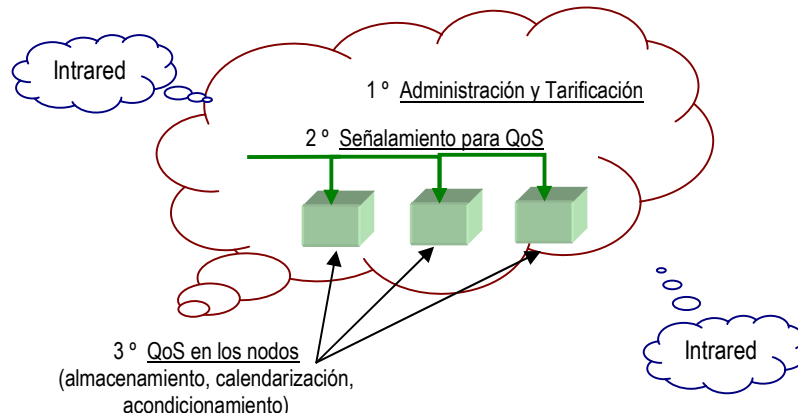
En la actualidad los servidores de Internet usan una amplia variedad de métodos para poder otorgar servicios garantizados a sus subscriptores. La disponibilidad de una red se mide en base a un acuerdo sobre el nivel de servicio llamado SLA (Service Level Agreement) entre el subscriptor y el servidor de Internet.

Un servicio básico puede ser el acceso a servicios de Internet, el cual en caso de falla estará violando el SLA. Por el contrario, cuando el acceso se da sin ninguna dificultad se dice que el servicio es entregado con calidad. El servidor puede usar otros criterios en cuanto a la garantía del servicio ofrecido, que pueden definirse mediante el monto total de tráfico entregado a su destino sin ninguna pérdida.

Por lo tanto tenemos que la unión de los términos calidad y servicio encierran mediciones sobre el comportamiento de la red, así como la definición de las características y propiedades de un servicio en específico. De este modo se tiene que la calidad de servicio representa la capacidad de diferenciar entre el tráfico o servicios de un usuario con respecto de otro [Paul Ferguson y Geoff Huston, 1998].

La arquitectura básica de calidad de servicio (figura 1) abarca tres aspectos fundamentales para su implementación, que son:

1. Políticas de calidad de servicio, tales como la administración y funciones encargadas de la tarificación de los servicios de QoS ofrecidos a un cliente en particular.
2. Técnicas de identificación y marcado sobre enlaces de extremo a extremo.
3. Elementos que otorguen calidad de servicio sobre la red, como lo son: la calendarización, el acondicionamiento de tráfico y la administración de las colas.



**Figura 1.-** Implementación Básica de Calidad de Servicio (QoS).

## II.3 PARÁMETROS DE CALIDAD DE SERVICIO (QoS).

Como se mencionó anteriormente, la Calidad de Servicio describe la capacidad de diferenciación entre distintos tipos de tráfico y distintos tipos de servicio que los usuarios pueden incluir dentro del SLA. Para lograr que una red pueda otorgar cierta Calidad de Servicio a sus usuarios, existen parámetros para medir la calidad de servicio, entre los que destacan los cinco que se describen enseguida, ya que la mayoría de las aplicaciones requiere una combinación de los mismos [Walter Weiss, 1998].

**1. Disponibilidad de Servicio.-** Se refiere a la oportunidad que tiene un usuario de acceder a los dispositivos de una red. Este parámetro depende del número de puertos de acceso a la red y se ve afectado cuando la red presenta niveles de congestión, ya que en ese momento el servicio ofrecido al usuario puede retardarse o puede simplemente no ser otorgado, por ello este punto encierra características de administración de los recursos de la red basándose en la carga total de tráfico que transite sobre ella, con la finalidad de detectar la presencia de niveles de congestión.

La administración del ancho de banda es un componente muy importante del cual depende la entrega garantizada de QoS hacia los usuarios, así como la disponibilidad de un usuario para conectarse a los servicios de Internet. Los niveles de congestión se presentan cuando el tráfico inyectado a un enlace excede los niveles de ancho de banda destinados a éste.

**2. Paquetes Perdidos.-** Como consecuencia del nivel de congestión que puede presentar un enlace de una red, este puede ocasionar la pérdida de paquetes. Una forma de evitar esta

pérdida se basa en la reducción del tráfico que compite por el uso del enlace, lo cual puede liberar a dicho enlace de la presencia del nivel de congestión y se puede lograr mediante el envío de avisos hacia el nodo fuente para que disminuya el tráfico inyectado al enlace y por consiguiente el nivel de congestión [Walter Weiss, 1998]. El porcentaje de paquetes que son desechados, perdidos o que se corrompen mientras viajan por la red se puede obtener mediante el cálculo de una probabilidad de pérdidas, la cual se da en base a la siguiente expresión matemática:

$$PLR = \frac{\text{No. total de paquetes perdidos}}{\text{No. total de paquetes transmitidos}}$$

(1)

3. **Retardo.-** También es conocido como retardo de extremo a extremo, y se refiere al tiempo total que transcurre desde que un paquete es transmitido por un nodo fuente hasta que es recibido por el nodo destino. Aplicaciones como voz y video requieren de ciertos niveles mínimos de retardo para su buen desempeño. Un retardo excesivo puede ocasionar que el receptor ignore los paquetes, obteniendo un mal uso del ancho de banda y reduciendo la calidad de la aplicación [Walter Weiss, 1998].

4. **Variación en el retardo ó Jitter.-** Este parámetro se basa en la diferencia del retardo perteneciente a paquetes similares, los cuales siguen una misma trayectoria dentro de la red. Este parámetro se ve afectado por el almacenamiento de los paquetes dentro de una cola, por lo tanto dependerá del tamaño de las mismas y repercute sobre el buen desempeño de una aplicación sobre la red [Walter Weiss, 1998].

5. **Caudal Eficaz.-** Este parámetro se refiere al monto total de tráfico recibido con éxito por el nodo destino y se expresa mediante la siguiente expresión matemática:

$$Th = \rho[1 - PLR]$$

(2)

Donde:

Th → Caudal Eficaz.

$\rho$  → Se refiere a la utilización del enlace.

PLR → Es la probabilidad de pérdida de paquetes.

Cualquier diseño de red debe tratar de maximizar los puntos 1 y 5, reducir el punto 3 y eliminar los puntos 2 y 4, para poder ofrecer Calidad de Servicio a los usuarios de una red.

La implementación de redes con calidad de servicio, debe contemplar diferentes comportamientos de tráfico, que dependen de los mínimos o máximos valores que puedan soportar de retardo y pérdidas. Dependiendo de estas características se pueden definir una variedad de flujos de diferentes tipos. Esta variedad de flujos o bien diferentes tipos de comportamientos de tráfico hace posible la división o clasificación de diferentes tipos de servicio.

## **II.4 ASIGNACIÓN DE RECURSOS.**

Al hablar de asignación de recursos sobre una aplicación en Internet, se deben tomar en cuenta los parámetros mencionados en el punto anterior, de los cuales la pérdida de paquetes y el retardo son ocasionadas por el mal manejo de los recursos de una red y la falta de información sobre los requerimientos que demandan ciertas aplicaciones.

Las redes más simples consisten de recursos compartidos, como lo es el ancho de banda y las colas, así como servicios de tráfico a usuarios. Ahora bien, una red que pueda soportar la implementación de QoS necesita tomar en cuenta aspectos importantes en cuanto a procesos para la asignación de recursos y el control de admisión.

La Internet actual trata a todos los paquetes de una misma forma y les otorga servicio conforme van llegando. Esto es, el primero en llegar es el primero en ser atendido (FIFO, first input, first output). Además no existe un control de admisión sobre la información que los usuarios pueden inyectar a la red. A este servicio se le conoce como Mejor Esfuerzo y representa el tipo de servicio más simple que una red puede ofrecer, ya que no garantiza la asignación de recursos para ningún tipo de flujo de tráfico. Por lo tanto, cuando un enlace se encuentra congestionado,

simplemente se descartan los paquetes conforme se saturan las colas de los enrutadores y, debido a que la red trata a todos los paquetes de una misma forma, cualquier flujo de tráfico puede contribuir al congestionamiento de la red y sufrir las consecuencias.

Algunas aplicaciones pueden tolerar este tipo de servicio, como lo son las transmisiones de archivos FTP, no siendo de igual forma para aplicaciones en tiempo real, donde el retardo y la pérdida de paquetes afecta gravemente el buen desempeño de la aplicación. Por lo tanto, se requieren de nuevas arquitecturas que aseguren los recursos y realicen una diferenciación de servicios que transitan por una red.

Durante el transcurso de la última década la comunidad de Internet presenta dos prototipos para la implementación de redes que ofrezcan Calidad de Servicio. Estos dos prototipos son llamados **Servicios Integrados (IntServ)** y **Servicios Diferenciados (DiffServ)**. Ambas arquitecturas ofrecen la asignación de recursos, además de abarcar puntos importantes para la implementación de QoS.

Los Servicios Integrados y los Servicios Diferenciados representan dos soluciones diferentes, ya que los Servicios Integrados otorgan el aseguramiento de recursos a través de la reservación de los mismos para aplicaciones de flujos individuales, mientras que los Servicios Diferenciados usan una combinación de políticas de frontera, abastecimiento y preferencia de tráfico.

Ya que las metas de QoS sobre las redes se enfocan a la asignación de recursos en una red pública, es muy frecuente que la implementación de QoS se lleve a cabo en base a los flujos que inyectan dos o más redes corporativas hacia una red pública. Por lo tanto, es obvio que las exigencias de una aplicación deben ser soportadas durante todo el trayecto fuente-destino (enlace extremo a extremo). Los mecanismos que soportan QoS de extremo a extremo deben ser omnipresentes, por lo que la implementación de QoS se realiza sobre la capa de enrutamiento (capa 3) del modelo OSI (Open System Interconnection).

Aunque algunas tecnologías que trabajan sobre la capa 2 soportan algún tipo de QoS, la divergencia en cuanto al enfoque de un protocolo de redes con respecto al de otro, (tal como

Frame Relay, ATM y Ethernet) hace impráctico asignar los requerimientos de QoS de una capa a otra. Por esta razón, los protocolos IntServ y DiffServ operan sobre la capa 3, pero pueden trabajar sobre tecnologías de la capa 2.

## **II.5 SERVICIOS INTEGRADOS (INTSERV).**

Las aplicaciones en tiempo real, tales como videoconferencia y voz, son muy sensibles a retardos y pérdida de paquetes, y por lo tanto, no pueden desempeñarse de manera satisfactoria sobre Internet, teniendo en cuenta el uso del mecanismo de Mejor Esfuerzo sobre la red. Los requerimientos de estas aplicación es en base a retardo y variación del retardo son muy estrictos, por lo que demandan un nuevo tipo de servicio que pueda otorgar algún nivel de aseguramiento de recursos para el buen desempeño de la aplicación sobre la red.

Debido a los problemas que presenta el mecanismo de Mejor Esfuerzo, se toma la decisión de crear una nueva arquitectura, la cual nace a principios de 1990. Durante este periodo, la IETF crea el grupo de trabajo para IntServ, con la finalidad de estandarizar una nueva arquitectura para la asignación de recursos y los nuevos modelos de servicio.

La arquitectura de servicios integrados propuesta por la IETF [RFC 1633] se basa en una reservación de recursos por cada flujo de tráfico. Para otorgar recursos seguros a una aplicación en particular se debe hacer una reservación antes de inyectar el flujo de tráfico a la red. Esta reservación de recursos encierra diferentes procesos a seguir, dentro de los que encuentra la caracterización de su fuente de tráfico y los requerimientos de recursos que demandará cierta aplicación, teniendo en cuenta que de antemano la red usa un protocolo de enrutamiento para llevar a cabo la reservación de recursos.

El uso de un protocolo de reservación se debe a la necesidad de encontrar la trayectoria adecuada, basada en los recursos solicitados. Esta reservación se realiza en cada elemento de red en la trayectoria, tomando en consideración un mecanismo de control de admisión con la finalidad de verificar la disponibilidad de los recursos suficientes para poder aceptar la nueva reservación.

Una vez que la reservación se establece, la fuente puede comenzar a enviar los datos de dicha aplicación sobre la trayectoria y hacer uso exclusivo de los recursos reservados. La reservación se refuerza en base a una clasificación de paquetes y un mecanismo de calendarización, realizados por los elementos de la red, como lo son los enrutadores.

En la figura 2 se muestra un diagrama a bloques de la arquitectura IntServ implementada en un enrutador.

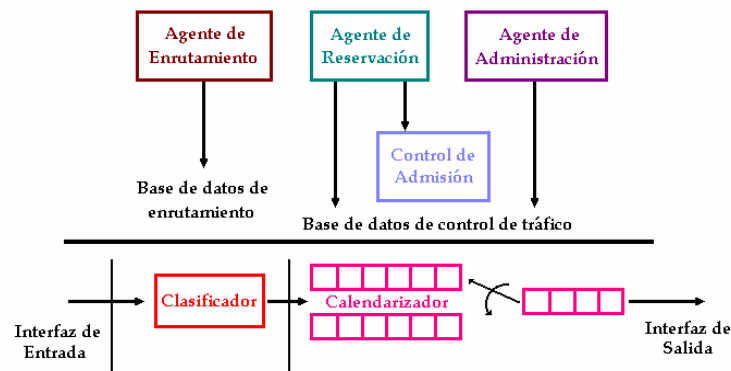


Figura 2.- Arquitectura de Servicios Integrados.

Servicios Integrados propone dos modelos de servicio, que son: **Servicio Garantizado** y **Servicio de Carga Controlada**.

El **servicio garantizado** proporciona un nivel asegurado de ancho de banda, con un mínimo retardo de extremo a extremo y sin pérdidas de paquetes. Está diseñado para aplicaciones que poseen estrictos requerimientos de entrega en tiempo real, tal como aplicaciones de audio y video son intolerantes al arribo de datagramas después del tiempo en el que les corresponde ser presentados.

Para que un enrutador utilice el servicio garantizado para un flujo de datos específico, necesita ser informado de las características del tráfico (Tspec) y de las características de la reservación (Rspec). Además, para que el enrutador pueda calcular los recursos locales suficientes y garantice



un servicio sin pérdidas, se requiere de la suma de los términos de error para cada enrutador en el trayecto.

El **servicio de carga controlada** no proporciona garantías cuantitativas. En este se deben notificar las características del tráfico para los flujos en los que se requiere tener un servicio de carga controlada en el enrutador, aunque no es necesario incluir el parámetro de velocidad pico de transmisión. Si el flujo es aceptado para el servicio de carga controlada, el enrutador hace un compromiso para ofrecerle al flujo un servicio equivalente al que vería bajo la técnica del mejor esfuerzo, cuando la red tiene poca carga. La diferencia importante es que el flujo de carga controlada no se deteriora si la carga en la red se incrementa.

El servicio de carga controlada se emplea para las aplicaciones que pueden tolerar una cierta cantidad de pérdidas y retardos dentro de un nivel razonable. Un ejemplo de estas aplicaciones puede ser la transferencia de archivos FTP.

Los enrutadores que implementan el servicio de carga controlada deben revisar que los flujos de datos de carga controlada se adecúen a sus características de tráfico reservadas. Cualquier flujo que no se adecúe no debe afectar la QoS ofrecida a los demás flujos de carga controlada o el manejo del tráfico bajo la técnica del mejor esfuerzo.

La implementación de la arquitectura IntServ dentro de una red dorsal no representa una buena solución para el otorgamiento de calidad de servicio, ya que como primer punto, la arquitectura se enfoca principalmente a aplicaciones de larga duración y muy susceptibles a retardos. Debido a que el tráfico del tipo WWW es el predominante sobre cualquier red, las

características que lo definen implican cambios significativos sobre los datos transmitidos, el encabezado requerido para la reservación es demasiado grande y mucho de este tráfico presenta características de corta duración. Ahora bien, para poder soportar la reservación de un flujo en cada nodo de la red, se requiere de la implementación de la clasificación y la calendarización, lo cual hace ver al mecanismo IntServ como una opción que no es capaz de alcanzar velocidades muy altas de transmisión.

Estos puntos llevan a la conclusión de que IntServ puede ser un mecanismo para la implementación de calidad de servicio sobre redes corporativas (intranets), ya que éstas son limitadas en tamaño y operan bajo un mismo dominio administrativo. Por lo tanto, se puede decir que IntServ ofrece una garantía sobre la mejor repartición del ancho de banda para aplicaciones de voz sobre IP y video conferencias, sobre redes corporativas.

## **II.6 SERVICIOS DIFERENCIADOS (DIFFSERV).**

La arquitectura de Servicios Diferenciados fue desarrollada como una opción alternativa para la asignación de recursos, ya que los proveedores de servicios de Internet observaron que Servicios Integrados no era una buena solución para redes de gran escala. Por ello, la IETF formó un nuevo grupo de trabajo para desarrollar un marco de trabajo y estandarizar los diferentes niveles de servicios de Internet. El nuevo mecanismo, llamado Servicios Diferenciados (DiffServ), es bastante diferente a Servicios Integrados, ya que como primer punto se tiene que DiffServ realiza la reservación de recursos mediante una combinación de políticas de frontera, abastecimiento y una asignación de prioridades sobre el flujo de tráfico, con la finalidad de obtener la diferenciación de los servicios. Toma en cuenta dos elementos importantes:

1) La implementación de una diferenciación de servicios a niveles de tráfico agregado.

- 2) Asegura los recursos mediante la implementación de mecanismos apropiados para el descarte, envío y selección de paquetes dentro de una red; dicho mecanismo recibe el nombre de Comportamiento por Salto (PHB, Per Hop Behavior), el cual es aplicado sobre cada nodo con condiciones de tráfico especificadas en el TCA (Traffic Conditioning Agreement).

La arquitectura de Servicios Diferenciados [RFC 2475] es un modelo donde el tráfico que entra a la red es clasificado y posiblemente condicionado en las fronteras de la red, así como asignado a diferentes comportamientos de flujo agregado. Cada comportamiento de flujo agregado corresponde a un código DS (DiffServ), que se encuentra asignado sobre el campo ToS (Type of Service), perteneciente al encabezado IPv4 o bien al campo Tipo de Clase, perteneciente al encabezado IPv6, ambos de 8 bits. Dentro de la red, los paquetes son transmitidos de acuerdo al comportamiento asociado con el código DS.

Los enrutadores que se encuentran en la frontera de una red de Servicios Diferenciados son los responsables de asignar los paquetes a sus respectivos comportamientos de flujo agregado. Esta clasificación de paquetes se realiza en base a un acuerdo de nivel de servicio (SLA, Service Level Agreement), realizado entre el usuario y el servidor de Internet. Las fronteras de la red también son las responsables de realizar un control de admisión, donde el tráfico fuera del perfil acordado es descartado, retardado, quizás marcado con una prioridad menor o bien colocado dentro de algún tipo de flujo agregado.

Los comportamientos de flujo agregado son codificados dentro del encabezado del paquete, y posterior a la marcación, los nodos del interior de la red usan dicha información para diferenciar el tratamiento que se debe otorgar a cada paquete. Estos comportamientos de transmisión indican prioridades de descarte o prioridades en cuanto a la asignación de recursos que demande el tipo de comportamiento agregado.

DiffServ no requiere de la reservación de recursos previa a la transmisión del tráfico, ya que la asignación de éstos se basa específicamente en el tipo de comportamiento al que fue asignada una determinada aplicación. Los recursos demandados por dicha aplicación se especifican previamente en el SLA. Además, DiffServ elimina los problemas de escalabilidad que posee IntServ gracias a que los nodos interiores del dominio DiffServ sólo realizan operaciones más sencillas que las realizadas sobre la frontera de la red. Por lo tanto, se puede concluir diciendo

que el modelo DiffServ es un mecanismo confiable para la asignación y aseguramiento de los recursos de una red a gran escala, teniendo en cuenta que la calidad de aseguramiento depende del monto total de recursos y gestión que sean demandados por los usuarios de la red.

El objetivo principal de este trabajo de investigación es el estudio del prototipo de Servicios Diferenciados, para posteriormente implementarlo mediante un modelo de simulación. Por ello en el siguiente capítulo se presenta un estudio detallado del comportamiento, la arquitectura y la implementación de DiffServ.

# VIII. SERVICIOS DIFERENCIADOS (DIFFSERV).

## III.1 INTRODUCCIÓN.

Un servicio define características sobre la transmisión de paquetes en una sola dirección a través de una o más trayectorias dentro de una misma red. Estas características se especifican en términos cuantitativos o estadísticos, como lo son: *caudal eficaz*, *retardo*, *variación de retardo* y *pérdida de paquetes*. Así mismo se pueden especificar dichas características en términos de prioridades basadas en el acceso a los recursos de la red.

En 1997 nace un grupo de trabajo llamado Servicios Diferenciados, el cual fue establecido por la IETF (Internet Engineering Task Force) en respuesta a la necesidad de ofrecer diferentes niveles de servicio para el tráfico de Internet, soportando a la vez varios tipos de aplicaciones y los requisitos que demande el servicio. Por lo tanto, presenta la ventaja de poder ofrecer diferentes niveles sobre los costos, basados en la clasificación de servicios de Internet.

Los principales objetivos que tiene este protocolo son:

- Ofrecer una amplia variedad de servicios y otorgar políticas en cuanto al tratamiento de flujos de tráfico a lo largo de una trayectoria sobre una red en particular.
- Permitir que los servicios ofrecidos no dependan del tipo de aplicación en uso.
- Trabajar con aplicaciones existentes sin la necesidad de cambios sobre la programación de la interfaz o sobre el software de un host.
- Permitir que las condiciones del tráfico y los servicios disponibles sean totalmente independientes de la implementación del PHB, dentro del dominio DiffServ.
- Permitir una clasificación de paquetes simple dentro del dominio DiffServ.
- Permitir la interoperabilidad entre redes de diferentes dominios.

### III.2 SERVICIOS DIFERENCIADOS (DIFFSERV).

Sobre las fronteras de una red DiffServ, un usuario y su proveedor de Internet (ISP, Internet Service Provider) realizan un acuerdo donde establecen el perfil de servicio para el flujo agregado que inyectará dicho usuario a la red DiffServ. Este acuerdo se conoce como el acuerdo de nivel de servicio (SLA, Service Level Agreement). Se manejan flujos agregados ya que los enrutadores de frontera no observan los micro flujos de cada empleado de una compañía, sino que el tráfico que demanda una compañía entera es tratado como el tráfico de un solo usuario, por lo tanto el micro flujo de múltiples usuarios es agregado y enviado a un enrutador de frontera para ser tratado con calidad de servicio. El perfil de servicio puede contener información tal como: dirección de la fuente de tráfico, dirección destino, tasa de servicio, máximo tamaño de ráfaga, etc.

Con la finalidad de otorgar cierto nivel de calidad de servicio, basado en la información contenida en el SLA, el estándar DiffServ clasifica el tráfico dentro de grupos pequeños llamados "clases de transmisión". Un paquete que pertenece a una clase, es codificado por medio de un campo ubicado en el encabezado IP de dicho paquete. El estándar describe cómo se marcan los paquetes IP para que éstos puedan ser tratados con QoS dentro del dominio DiffServ. Para ello se hace uso de un código DS conocido como DSCP (DiffServ Code Point), el cual es marcado sobre el paquete IP dentro de un campo de 8 bits llamado "ToS" para IPv4 y "Clase de tráfico" para IPv6 [Uyless Black, 2000]. La figura 3 muestra los encabezados IP y la ubicación del código DS.

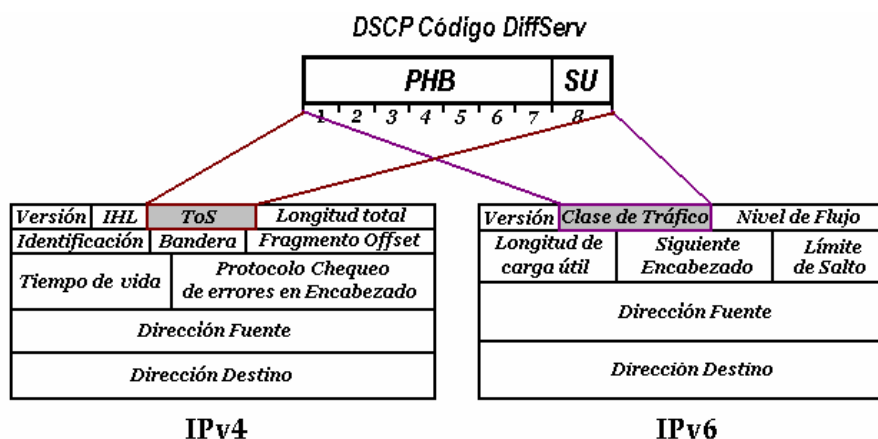


Figura 3.- Encabezados IPv4 e IPv6 y Código DS.

Las clases se ubican dentro de un comportamiento por salto llamado PHB (Per Hop Behavior), el cual se implementa sobre cada enrutador del dominio DiffServ y se encarga de determinar el nivel de calidad de servicio que se otorgará a un flujo de tráfico.

Servicios Diferenciados se compone de elementos funcionales implementados en los enrutadores de la red, los cuales conforman el comportamiento por salto PHB en la transmisión de paquetes. Estos elementos funcionales se basan en la clasificación, medición, marcación, control de admisión, calendarización y acondicionamiento del tráfico. Los parámetros de operación de cada elemento dependen del SLA. El control de admisión se basa en políticas de encolamiento para el descarte de paquetes en caso de congestión.

DiffServ ofrece la ventaja de ser escalable ya que sólo realiza una clasificación compleja y un acondicionamiento de tráfico (TCA, Traffic Conditioner Agreement) en las fronteras del dominio DiffServ. Los enrutadores que se encuentran dentro de la red DiffServ sólo realizan una reclasificación en caso de ser requerida y envían el tráfico al siguiente enrutador basándose en el comportamiento PHB establecido en el enrutador de frontera. El TCA abarca las funciones de medición, marcación, control de admisión, calendarización y acondicionamiento de tráfico.

La arquitectura sólo otorga calidad de servicio en una sola dirección, por lo que podemos decir que es una arquitectura asimétrica.

La diferenciación de tráfico se basa en el tipo de servicio requerido. Para ello los enrutadores pueden emplear diversas políticas de encolamiento (PQ, basado en prioridades; WFQ, basado en pesos justos; CBQ, basado en clases). Generalmente, el tráfico sensible a retardos necesita ser atendido más rápido, y el tráfico sensible a pérdidas necesita dispositivos de almacenamiento grandes. La pérdida de paquetes puede ser controlada utilizando diferentes mecanismos de detección temprana como lo es RED (Random Early Detection) y WRED (Weight Random Early Detection). Estos métodos utilizan mecanismos probabilísticos

para comenzar a desechar paquetes cuando se exceden ciertos niveles de umbral en la cola de tal manera que las fronteras puedan detectar que el sistema está cerca de entrar en un estado de congestión.

### *III.3 Dominio DiffServ (DS).*

El dominio DiffServ es un conjunto de enrutadores que operan mediante un servicio común con la finalidad de otorgar políticas de encolamiento y un conjunto de grupos PHB implementados en cada enrutador. Posee una perfecta definición sobre los límites y consiste de un conjunto de enrutadores de frontera que se encargan de clasificar y condicionar el tráfico de entrada, mediante la marcación de un PHB perteneciente a un grupo determinado de PHB's soportados dentro del dominio DS. Los enrutadores dentro del dominio DS seleccionan el comportamiento de transmisión de un paquete basándose en el DSCP, a estos últimos se les conoce como enrutadores de núcleo [RFC 2475].

***EN LA FIGURA 4 SE OBSERVA UN DIAGRAMA DEL DOMINIO DS, EL CUAL CONSISTE DE ENRUTADORES DE FRONTERA Y ENRUTADORES DE NÚCLEO. LOS ENRUTADORES DE FRONTERA INTERCONECTAN EL DOMINIO DS CON OTROS DOMINIOS Y LOS ENRUTADOR DE NÚCLEO SON LOS QUE SE ENCUENTRAN EN EL INTERIOR DEL DOMINIO DS Y SÓLO SE ENCARGAN DE LA INTERCONEXIÓN CON OTROS ENRUTADORES DE NÚCLEO O CON LOS ENRUTADORES DE FRONTERA PERTENECIENTES AL MISMO DOMINIO. AMBOS TIPOS DE ENRUTADORES DEBEN POSEER LA CAPACIDAD DE TRATAR LOS FLUJOS DE TRÁFICO AGREGADO DEPENDIENDO DEL TIPO DE PHB MARCADO MEDIANTE EL DSCP. LOS ENRUTADORES DE FRONTERA DESARROLLAN FUNCIONES DE CONDICIONAMIENTO DE TRÁFICO COMO LO DEFINE EL TCA DENTRO DEL MISMO DOMINIO DS. LOS ENRUTADORES DE NÚCLEO DEBEN SER CAPACES DE REALIZAR FUNCIONES DE CONDICIONAMIENTO DE TRÁFICO, TALES COMO LA RE-MARCACIÓN DEL CÓDIGO DS (SI SE REQUIERE) O UNA CLASIFICACIÓN MÁS COMPLEJA (BASADA EN LOS DEMÁS CAMPOS DEL ENCABEZADO IPV6 Ó IPV4).***

***LOS ENRUTADORES DE FRONTERA PUEDEN ACTUAR COMO ENRUTADORES DE INGRESO O ENRUTADORES DE EGRESO DEL FLUJO DE TRÁFICO. EL TRÁFICO ENTRA AL DOMINIO DS MEDIANTE LOS***



**ENRUTADOR DE INGRESO Y ABANDONA EL DOMINIO DS MEDIANTE LOS ENRUTADORES DE EGRESO. UN ENRUTADOR DE INGRESO ES RESPONSABLE DE QUE EL TRÁFICO QUE ENTRA AL DOMINIO DS VAYA CONFORME LO ESPECIFICA EL TCA Y EL ENRUTADOR DE EGRESO PUEDE REALIZAR FUNCIONES DE CONDICIONAMIENTO SOBRE EL TRÁFICO TRANSMITIDO HACIA OTRO DOMINIO.**

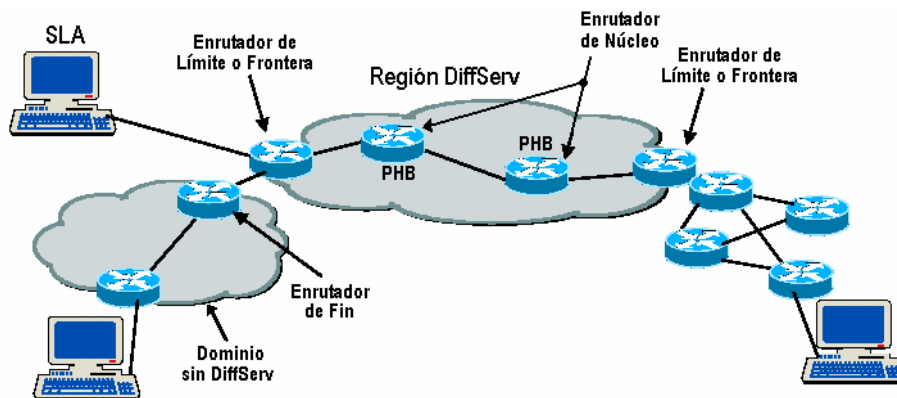


Figura 4.- Dominio DiffServ.

### III.4 Comportamiento PHB.

El comportamiento por salto PHB es una descripción del tratamiento del tráfico agregado para su posterior transmisión, aplicado por cada enrutador dentro del dominio DS [RFC 2475]. Un comportamiento PHB específico abarca un conjunto de paquetes los cuales poseen características similares de transmisión; a este conjunto de paquetes se les conoce como tráfico agregado, el cual será tratado de una misma forma sobre un determinado enlace dentro del dominio DS. Este comportamiento encierra características tales como pérdida de paquetes, retardo, variación de retardo, etc., los cuales dependen frecuentemente de la carga de un enlace en particular o bien de la aplicación.

Las distinciones sobre el comportamiento se observan cuando diferentes comportamientos agregados compiten por un lugar dentro de la cola, o bien por el uso de un determinado ancho de banda perteneciente a un enlace. Por lo tanto, el concepto PHB encierra características de reservación, ya sea en base al ancho de banda o bien en base al espacio en las colas. En general

PHB depende de ciertas restricciones sobre las características de tráfico asociadas al comportamiento de tráfico agregado.

Los PHB's se especifican en términos de prioridades sobre el uso de los recursos de la red en comparación con otros PHB's, o bien en términos de características de tráfico observables (retardo, pérdidas, variación de retardo, entre otras). Los PHB's pueden ser utilizados como un bloque que asigna los recursos a un determinado grupo, el cual comparte las mismas restricciones que se implementan mediante la calendarización de flujos o bien mediante políticas de administración de colas. La relación entre PHB's de un grupo se puede definir en términos absolutos o en prioridades (prioridad de descarte, ya sea determinística o estocástica).

La implementación de un PHB sobre un enrutador, se ve reflejada en la implementación de mecanismos para la administración de colas y la calendarización de paquetes. La asignación de diferentes PHB se realiza al asignar un código DSCP dentro de los paquetes DiffServ.

La IETF estandarizó dos tipos de PHB que son: *Envío Expedito (EF, Expedited Forwarding)* y *Envío Asegurado (AF, Assured Forwarding)*, pero también pueden manejar el mecanismo de Mejor Esfuerzo (Best Effort, BE) [Wang Z., 2001].

### **III.4.1 ENVÍO EXPEDITO (EF PHB).**

Se define como un tratamiento específico sobre la transmisión de tráfico agregado, donde la tasa de transmisión debe ser la misma a la establecida en el SLA. El tráfico EF debe ser recibido a la tasa acordada independientemente de la existencia de otro tráfico que vaya dirigido al mismo enrutador. EF puede manejar tráfico que presente ciertas limitaciones, como lo son bajo retardo y mínimas pérdidas, por lo que EF es un tipo de comportamiento PHB diseñado para aplicaciones que sean muy susceptibles a pérdida de paquetes, que no soporten grandes variaciones de retardo y que requieran de una baja latencia, así como de una asignación segura sobre los recursos que éstas demanden para su buen desempeño sobre la red [Anna Charny et al., 2001].

Las aplicaciones ideales para este tipo de comportamiento pueden ser: voz sobre IP, videoconferencia y aplicaciones multimedia, las cuales requieren de una asignación segura de ancho de banda, un compromiso de mínimas pérdidas, así como una mínima variación en el retardo (variación de retardo). EF puede ser implementado por una variedad de mecanismos de encolamiento los cuales incluyen PQ (Priority Queuing), WFQ (Weight Fair Queuing) y CBQ (Class Based Queuing). También se pueden usar los mecanismos de Token Bucket y Leaky Bucket que ayudan a controlar la tasa de transmisión, en caso de que así lo requiera el enlace.

### **III.4.2 ENVÍO ASEGURADO (AF PHB).**

Se encarga de asignar ciertos porcentajes de los recursos de la red para diferentes aplicaciones. Estos recursos se refieren al ancho de banda y al tamaño de las colas. Para ello los enrutadores de frontera vigilan el flujo de tráfico y lo marcan ya sea, dentro o fuera del perfil de tráfico. Así, al presentar niveles de congestión sobre la red, el tráfico marcado como fuera del perfil será el primero en ser descartado.

Los niveles de envío asegurado definen 4 clases que dependen de la asignación de recursos, la carga real de tráfico y la preferencia de descarte. Dichas clases son enviadas de manera independiente y un enrutador asigna los recursos necesarios para cada clase. Así mismo, tenemos que cada clase define tres niveles de descarte, los cuales no tienen ningún efecto sobre los mecanismos de encolamiento utilizados, ya que sólo afectan los esquemas de administración de colas.

Para definir los Servicios Diferenciados dentro de las clases AF en cada enrutador se tienen tres métricas de calidad, que son: ***ancho de banda requerido, pérdida de paquetes y retardos*** [Wang Z., 2001].

### *III.5 Tipos de Servicios.*

La arquitectura de Servicios Diferenciados maneja tres tipos de servicios que son: **Servicio Premium, Servicio Asegurado y Mejor Esfuerzo.**

#### ***III.5.1 Servicio Premium.***

Este tipo de servicio encierra características de bajo retardo, poca o nula variabilidad en el retardo y mínimas pérdidas de paquetes. Se dice que es un servicio de línea virtual, ya que está destinado para el uso de aplicaciones en tiempo real que requieren de un tiempo crítico para su transmisión y se puede ofrecer mediante la implementación de EF dentro de los enrutadores con comportamiento PHB [John Sikora y Ben Titelbaum, 1998].

Así mismo, permite a los usuarios negociar con su ISP una máxima asignación sobre el uso de ancho de banda para el envío de su tráfico agregado, el cual se selecciona mediante la dirección fuente o dirección destino ubicadas en el encabezado del paquete IP.

Una desventaja de este servicio es que no soporta datos en ráfagas, por lo que es conveniente acondicionar el tráfico perteneciente a este tipo de servicio por medio de un mecanismo llamado Leaky Bucket (sección IV.7.4).

### *III.5.2 Servicio Asegurado.*

El Servicio Asegurado ofrece un servicio que no garantiza la disponibilidad de ancho de banda, pero que sí otorga una alta probabilidad de transferencia de paquetes [Florian Baumgartner et al., 1996].

Este tipo de servicio es especial para aplicaciones que no son efectuadas en tiempo real, tales como buscadores de web, transferencia de archivos FTP, correo electrónico, entre otros. El tráfico en este tipo de servicio puede ser tratado mediante la implementación de enrutadores con comportamiento PHB AF.

Así mismo este servicio se divide en tres subclases que se engloban dentro del servicio Olímpico, estas son: Oro, Plata y Bronce. Para cada subclase se asignan diferentes porcentajes del ancho de banda, dependiendo de las aplicaciones y principalmente en base al acuerdo realizado entre el usuario y su ISP. El SLA especifica el monto total de ancho de banda asignado para un determinado cliente, y este es el responsable de decidir cómo compartirlo para ciertas aplicaciones. Las ventajas que ofrece el servicio asegurado son: *soporta la transmisión de datos en ráfagas y es más tolerante a retardos y a pérdidas de paquetes.*

## **III.6 ARQUITECTURA DIFFSERV.**

Los Servicios Diferenciados (DiffServ) basan su principio de funcionamiento en una arquitectura, la cual se muestra en la figura 5 [RFC 2475]. Esta arquitectura muestra un modelo simple donde el tráfico de entrada a la red es clasificado y condicionado sobre los límites de dicha red, para posteriormente ser asignado a un tráfico agregado que posea un mismo comportamiento. Cada comportamiento agregado se identifica por un código DS.

Dentro del núcleo de la red, el procesamiento de los paquetes es mas simple, ya que solamente son enviados de acuerdo al comportamiento por salto (PHB) asociado con el código DS (DSCP).

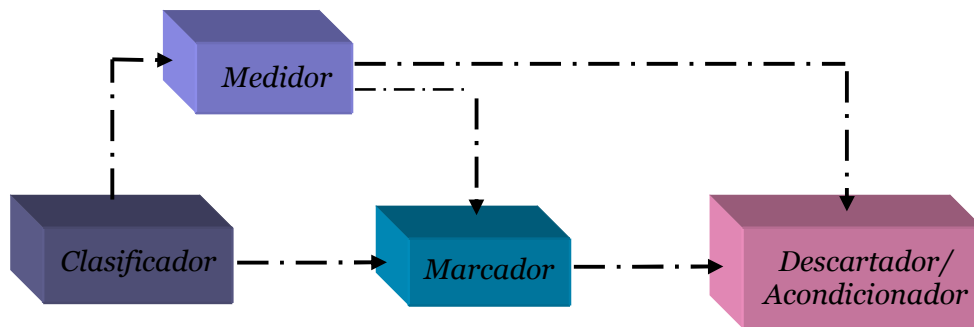


Figura 5.- Arquitectura de Servicios Diferenciados.

Las funciones principales que encierran los enrutadores de frontera, son la clasificación y el condicionamiento del tráfico. En la figura 5 observamos que la arquitectura DiffServ se divide en cuatro bloques: **Clasificador**, **Medidor**, **Marcador** y **Descartador/Acondicionador**, de los cuales, el medidor, el marcador y el descartador/acondicionador pertenecen al bloque de condicionamiento de tráfico TCB (Traffic Conditioner Block). La clasificación puede encerrar el clasificador y el marcador, este último sólo si el tráfico de ingreso no viene marcado por las redes asociadas a la red DiffServ.

**LOS NODOS DE FRONTERA TOMAN EN CUENTA EL TCA PARA LLEVAR A CABO EL PROCESO DE CONDICIONAMIENTO, QUE SE ENFOCA EN VERIFICAR SI EL TRÁFICO DE INGRESO SE ENCUENTRA DENTRO O FUERA DEL PERFIL. ESTO LO REALIZA MEDIANTE LA MEDICIÓN DEL TRÁFICO PROVENIENTE DEL CLASIFICADOR Y SU COMPARACIÓN CON EL PERFIL ESTABLECIDO POR EL USUARIO.**

**Clasificador.-** La clasificación de paquetes se basa en el contenido del flujo de tráfico que entra al dominio DS y se hace sobre una porción del encabezado del paquete.

Existen dos tipos de clasificadores: **BA (Behavior Aggregate)** y **MF (Multi-Field)**. El primero basa su procedimiento de clasificación sobre el código DSCP y el clasificador MF clasifica los paquetes mediante la selección de diferentes valores pertenecientes al encabezado del paquete, tales como la dirección fuente o destino, el campo DS, el campo de identificación, los números de puertos fuente o destino, etc.

El clasificador se usa para guiar los paquetes con características similares hacia los procedimientos de condicionamiento de tráfico. Los clasificadores deben ser configurados por medio de un procedimiento de administración de acuerdo con el TCA apropiado.

**Medidor.-** La medición de tráfico se basa en propiedades temporales del flujo de paquetes seleccionadas por el clasificador. Esta medición se hace contra el perfil de tráfico especificado en el TCA. Los medidores pasan su información hacia las funciones de acondicionamiento para determinar alguna acción en particular para cada paquete que se encuentre ya sea dentro o fuera del perfil de tráfico.

**Marcador.-** Marca los paquetes colocando sobre el campo DS un código DS particular, basado en un comportamiento agregado DS. El marcador puede ser configurado para marcar todos los paquetes que le llegan usando un solo código DS o puede ser configurado para marcar los paquetes mediante un conjunto de códigos DS para seleccionar un PHB dentro de un grupo de PHB's, de acuerdo a las mediciones realizados por el medidor. Cuando el marcador cambia el DSCP de un paquete se dice que este paquete fue remarcado.

**Acondicionador.-** Esta etapa se encarga de retrasar el paquete perteneciente a un flujo, con la finalidad de que éste caiga dentro del perfil del tráfico especificado por el SLA. El acondicionador regularmente posee un tamaño de cola finito, procediendo al descarte de paquetes cuando no exista suficiente espacio dentro de la cola, con la finalidad de mantener el retraso de los paquetes suficientemente pequeño.

**Descartador.-** Como su nombre lo indica, esta etapa se encarga de descartar paquetes pertenecientes a un flujo de tráfico, con la finalidad de evitar congestión y de que el flujo cumpla con los requisitos acordados dentro del perfil de tráfico. Un descartador de paquetes se puede implementar como un caso especial de un acondicionador de tráfico al hacer que el tamaño de la cola sea nulo o muy pequeño; a este proceso también se le conoce como política de encolamiento.

El perfil del tráfico especifica las propiedades temporales del flujo de tráfico seleccionado por el clasificador. Este otorga reglas para determinar si un paquete en particular se encuentra dentro o fuera del perfil de tráfico establecido. Este perfil de tráfico se puede basar en un esquema llamado token bucket (sección IV.7.2), que posee un determinado valor para la tasa de arribo y un valor que determina el tamaño máximo de la ráfaga. Por lo tanto, los paquetes que se encuentren fuera del perfil de tráfico serán aquellos que sobrepasen dichos valores.

Aquellos paquetes pertenecientes a un flujo de tráfico que cumplen con el perfil establecido, pueden acceder a los dominios de la red DS, sin necesidad de pasar por los procesos de condicionamiento.

### ***III.7 Mecanismos para el Diseño de Enrutadores DiffServ.***

Los enrutadores que soportan la implementación DiffServ manejan diferentes tipos de mecanismos, de acuerdo a los tipos de servicios que se usen dentro de la red, pero todos siguen la misma arquitectura DiffServ.

### **III.7.1 Clasificadores.**

Los clasificadores toman el flujo de ingreso y generan una separación lógica de diferentes flujos de tráfico, basada en el campo DS. Estos clasificadores se pueden implementar mediante la configuración de filtros [Richard Forberg, 2001], los cuales comparan el contenido de los paquetes, ya sea basándose solo en el campo DS o en base a otros parámetros contenidos en el formato del paquete IP. Por lo tanto, estos filtros consisten de un conjunto de condiciones basadas en los valores que contiene el encabezado de un paquete IP.

Para identificar el tipo de servicio, la clasificación sobre los enrutadores de frontera se basa en datos como direcciones fuente, destino o la dirección MAC. De este modo saben a qué cliente pertenece y cuáles son las características establecidas en el SLA, o bien, directamente sobre el campo ToS o Clase de Tráfico, si es que el tráfico ya viene marcado con un DSCP particular. Un ejemplo es como el que se muestra en la figura 6.

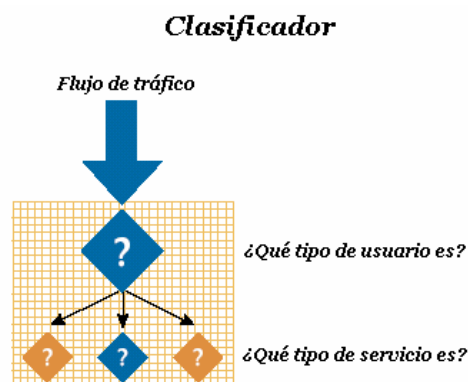


Figura 6.- Clasificación del tráfico de entrada.

### **III.7.2 Medidor y Marcador.**

El medidor se usa para activar las condiciones del tráfico, verificando si el flujo se encuentra dentro del perfil establecido o no. Existen varios mecanismos para llevar a cabo la medición del tráfico de entrada [Y. Bernet et al., 2001], como lo son:



**Medición por tasa promedio.**- Mide la tasa promedio con la que llegan los paquetes dentro de un tiempo específico. Usan un contador que indica el número total de bits de un mismo paquete que llegan dentro del tiempo específico. Los paquetes que lleguen fuera del promedio serán marcados como tráfico fuera del perfil. Los parámetros del tiempo de medición y la tasa promedio se especifican en el SLA.

**Medidor EWMA (Exponential Weighted Moving Average).**- Estos medidores controlan el intervalo de tiempo en el que un paquete debe llegar. Este intervalo de tiempo se establece mediante una ganancia proporcionada por un filtro pasa bajas. De este modo, la tasa de arribos se mide en base al número de bytes que llegan dentro de un intervalo pequeño de muestras fijo llamado delta. Por lo tanto cualquier paquete que llegue y sobrepase la tasa promedio predefinida, será definido como tráfico fuera del perfil o tráfico no conforme.

**Medidor Token Bucket (TB).**- Este medidor se basa en la implementación de un mecanismo llamado token bucket, el cual posee dos parámetros de comparación: **una tasa de token 'R' y un tamaño de ráfaga 'B'**. Este mecanismo de control hace más eficiente el uso de los recursos de la red (ancho de banda), ya que permite el flujo en ráfagas, lo cual se logra mediante la configuración de un valor pico de ráfaga. Los tokens representan unidades de bits, por lo tanto el administrador especifica cuantos tokens son requeridos para transmitir una cantidad determinada de bits en un intervalo de tiempo, una vez que se tienen los suficientes tokens se permite el flujo de tráfico, de lo contrario el paquete no será transmitido (figura 7).

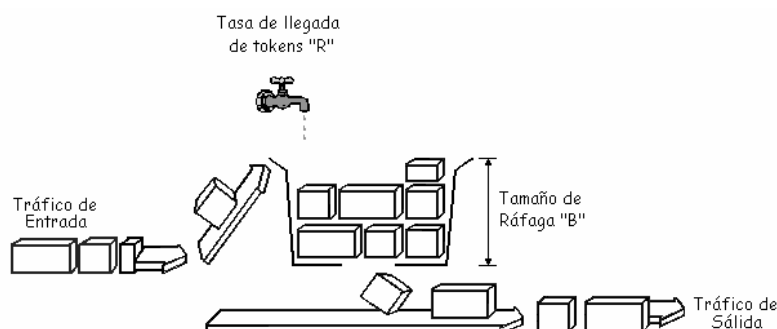


Figura 7.- Medidor Token Bucket (TB).

Los tokens se acumulan dentro en una cubeta con un tamaño igual al tamaño de la ráfaga B; cuando un paquete de longitud L llega al medidor, se aplica una prueba de conformidad del perfil; para ello se manejan dos tipos de pruebas:

Conformidad Estricta.- Los paquetes de longitud L son considerados como tráfico conforme al perfil, solo si existen suficientes tokens disponibles en la cubeta en el instante que el paquete arriba. La profundidad de la cubeta debe ser más grande o igual a la longitud del paquete.

Esta prueba no comparte los tokens que quedaron libres para la transmisión de algún otro paquete.

Conformidad Libre.- La longitud de los paquetes es considerada conforme al perfil, si ningún token queda libre en la cubeta cuando llega un paquete, esto es, que todos los tokens son ocupados para la transmisión de un paquete en particular.

**Medidores con múltiples Token Bucket.**- Los medidores del tipo TB pueden definir múltiples tamaños de ráfagas y diferentes niveles de conformidad. Los paquetes que excedan el tamaño de la ráfaga se mandan como tráfico no conforme o fuera del perfil. Los paquetes que exceden muy poco el tamaño de la ráfaga son enviados como ligeramente conformes y por último, los paquetes que no exceden este parámetro son enviados como tráfico conforme al perfil. La implementación de múltiples mecanismos de control TB permite el acondicionamiento independiente de diferentes clases de tráfico.

Los marcadores colocan un código DS de acuerdo a las decisiones tomadas por el medidor de tráfico, con la finalidad de que el paquete reciba el tratamiento adecuado de acuerdo a su perfil de tráfico establecido en el SLA.

### III.7.3 DESCARTADOR.

Una vez medido y marcado el tráfico, éste se somete a una etapa de **control de admisión y calendarización**, en la cual intervienen las colas (memoria para almacenar temporalmente los paquetes) y las políticas de encolamiento.

Las colas modulan la transmisión de paquetes pertenecientes a diferentes flujos de tráfico y determinan su orden, su posible almacenamiento o su descarte. Las políticas de encolamiento son sistemas que desarrollan tres funciones diferentes, pero relacionadas entre sí, que son: *almacenamiento de paquetes, modulación de la transmisión de paquetes hacia diferentes flujos de tráfico y una selección de paquetes a descartar.*

Los elementos que realizan estas funciones son: **Las colas, El calendarizador y los Mecanismos de Descarte**. Los tipos de colas que se manejan poseen una política FIFO (first input, first output), las cuales atienden a los paquetes en el orden que llegan.

Para la etapa de control de admisión se pueden manejar diferentes tipos de mecanismos, tales como RED, WRED o WRR (Weight Round Robin), estos mecanismos controlan el descarte de paquetes o bien su almacenamiento.

**RED.-** La idea básica de este mecanismo se basa en detectar los niveles de congestión temprana por medio del cálculo de la longitud de cola promedio AQS (Average Queue Size) y en base a dos valores de umbral (máximo y mínimo). El valor mínimo de umbral de la cola determina la cantidad de paquetes que se pueden almacenar sin ser descartados. Una vez que este mínimo valor de umbral es rebasado, los paquetes empiezan a ser descartados de manera aleatoria. Este descarte aleatorio depende del cálculo de la probabilidad de descarte y tiene la finalidad de no eliminar paquetes que pertenezcan a una misma aplicación.

Cuando el máximo valor de umbral es rebasado, ya no es necesario realizar el cálculo de la probabilidad de descarte, ya que todos los paquetes son descartados automáticamente [Bing Zheng y Mohammed Atiquzzaman, 2001]. En la figura 8 se muestra el esquema de funcionamiento de este mecanismo.

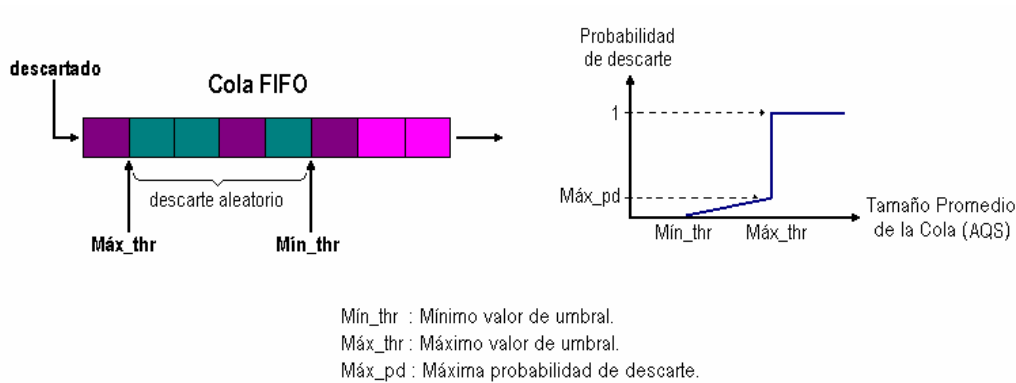


Figura 8.- Mecanismo RED.

**WRED.-** Funciona de forma similar al mecanismo RED. La diferencia radica en que este no posee una sola cola del tipo FIFO, si no que divide el tráfico en diferentes flujos, otorgándoles diferentes pesos. De este modo se tiene mas de una cola, dichas colas dependerán del mecanismo usado en la medición y marcación de paquetes (figura 9).

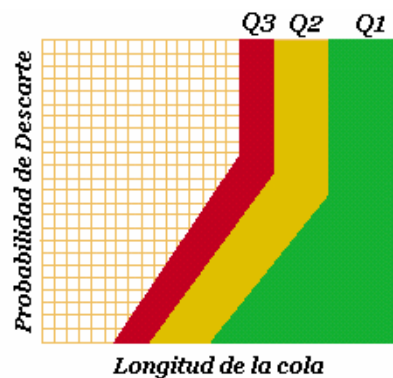


Figura 9.- Mecanismo WRED.

La modulación de la transmisión de paquetes correspondientes a diferentes flujos de tráfico se basa en la calendarización de los diferentes flujos de tráfico. Existen dos tipos de calendarización que son: **conservativos y no conservativos**. Los primeros nunca entran al estado de ocio cuando tienen paquetes en la cola y los segundos puede posponer la transmisión de paquetes de una cola, al llegar paquetes con mayor prioridad a otra [RFC 2475].

Otros tipos de calendarizadores pueden ser: *basados en prioridades y basados en tramas*. Los primeros tienen una variable global asociada con la salida y cada vez que llega un paquete y

recibe servicio, dicha variable es actualizada. De este modo el paquete es asociado con una fecha y una hora y son enviados en base a este dato. Los calendarizadores basados en tramas desplazan el tiempo dentro de tramas fijas o de valor variable y cada cola obtiene servicio en base a la duración de esta trama.

Los mecanismos para calendarizadores del tipo **conservativo basado en prioridades** pueden ser PQ y WFQ y los mecanismos para calendarizadores del tipo **no conservativo basado en tramas** puede ser WRR.

**PQ.-** Este mecanismo utiliza colas de tipo FIFO, con un puerto de salida para cada cola. A su vez se asigna una cierta prioridad a cada cola con la finalidad de otorgar un mejor servicio a los paquetes marcados con mayor prioridad. Debido a que PQ es un calendarizador de tipo conservativo, primero se vacían las colas a las cuales se les asignó mayor prioridad y así sucesivamente (figura 10).

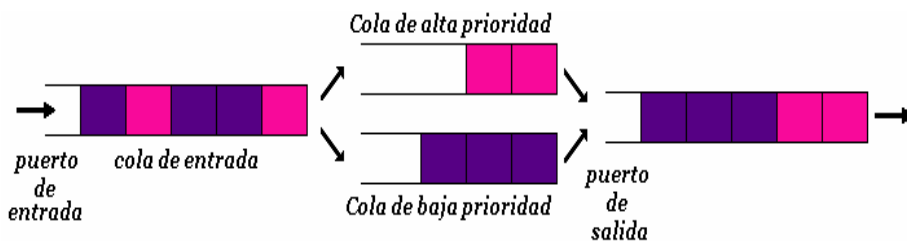


Figura 10.- Mecanismo PQ (Priority Queuing).

**WFQ.-** Fue diseñado con la finalidad de poder distribuir el ancho de banda para diferentes aplicaciones, examinando las direcciones del paquete, los números de puertos y los tipos de protocolos. De este modo se pueden manejar diferentes tipos de colas, las cuales son del tipo FIFO. A cada cola se le asigna un peso, el cual puede ser diferente dependiendo de la prioridad o de la aplicación a la que pertenezca el flujo de datos. El peso se refiere a la repartición de ancho de banda. Este mecanismo tiene la ventaja de otorgar el ancho de banda de una cola a otra, mientras la primera se encuentre vacía (figura 11).

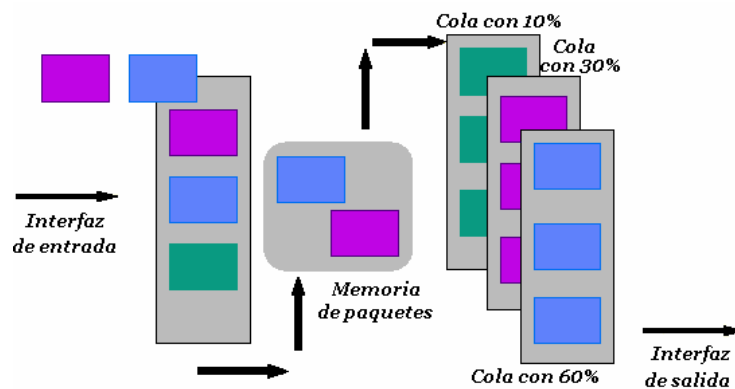


Figura 11.- Mecanismo WFQ.

### III.7.4 ACONDICIONAMIENTO.

El acondicionamiento del tráfico se basa en la idea de controlar la carga de tráfico a la salida de un enlace, que será dirigido hacia un siguiente enrutador PHB o hacia su destino. Este acondicionamiento se puede lograr mediante la implementación de un mecanismo de control llamado "leaky bucket". Dicho mecanismo evita el tráfico a ráfagas; esto es, lo acopla de tal forma que a la salida se tiene un tráfico a una tasa de bit constante, por lo que se dice que este mecanismo acondiciona el tráfico con una tasa de bit variable a un tráfico con una tasa de bit constante [Paul Fergunson y Geoff Huston, 1998].

El mecanismo se puede comparar con una cubeta, la cual tiene un hoyo en el fondo, como se muestra en la figura 12, lo que causa una fuga (leak) a una cierta tasa constante. La profundidad de la cubeta determina la cantidad de datos que pueden ser almacenados antes de que estos sean descartados y es un valor que determina los parámetros de tolerancia. Por lo tanto, puede ser configurado por el usuario dependiendo de sus necesidades.

Este mecanismo está basado en el uso de una cola FIFO que representa la capacidad de la cubeta. Por lo tanto, este mecanismo de control usa una medición de tiempo para indicar cuando puede ser transmitido el tráfico de la cola. De este modo controla la tasa a la cual el tráfico es vaciado dentro de la red. En esencia podemos decir que el mecanismo de control "Leaky Bucket" representa una característica clave para definir el significado de conformidad de tráfico.

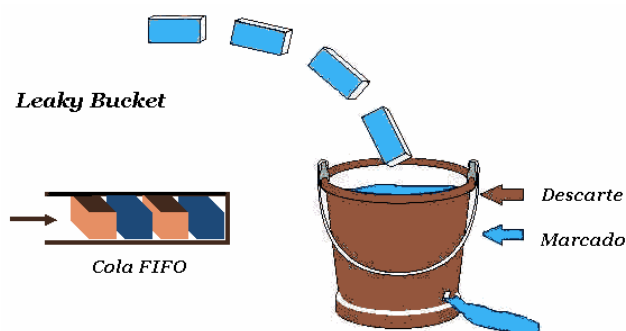


Figura 12.- Mecanismo de control Leaky Bucket.

### III.8 PROPUESTA DE ENRUTADORES DIFFSERV.

En la sección anterior se presentaron algunos mecanismos con los cuales se pueden implementar enrutadores que otorguen calidad de servicio mediante el protocolo DiffServ. Los mecanismos propuestos en este trabajo de investigación para la implementación de un enrutador DiffServ son los que se muestran en la tabla I.

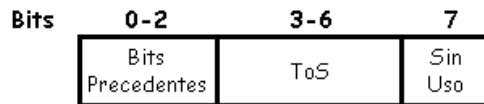
Tabla I. Mecanismos empleados en el diseño de un enrutador DiffServ.

BLOQUE DE LA ARQUITECTURA		MECANISMO
CLASIFICADOR		BA
MEDIDOR Y MARCADOR		trTCM (two rate Three Color Marker)
DESCARTADOR	Control de Admisión	WRED
	Calendarizador	PWFQ (Priority Weight Fair Queuing)
ACONDICIONADOR		Cubeta con Goteo o Leaky Bucket

#### III.8.1 CLASIFICADOR BA.

El clasificador BA conocido también como clasificador de comportamiento agregado, se basa en la clasificación de paquetes por medio del encabezado IP, el cual contiene un campo de 8 bits

llamado ToS o Tipo de Servicio. Cada bit del campo ToS otorga una indicación sobre los parámetros de calidad de servicio deseados, por tal motivo se eligió el uso de este clasificador, ya que con fines de simulación, el paquete será marcado como DS sobre el campo ToS [Ed Ellesson y Oteven Blake, 1998]. La figura 13 muestra el esquema de clasificación de cada bit.



**Figura 13.-** Campo ToS del encabezado IP.

Siguiendo esta referencia se proponen los valores de cada bit del campo ToS conforme a los servicios ofrecidos por el protocolo DiffServ y se muestran en la tabla II.

**Tabla II.** Parámetros de Calidad de Servicio para cada bit del campo ToS.

APLICACIÓN	BITS	PARÁMETROS DE QoS	VALOR
Protocolos	0	Tipo de Servicio	0 Mejor Esfuerzo
			1 Servicios Diferenciados
Tratamiento Agregado	1	Comportamiento PHB	0 AF (Envío Asegurado)
			1 EF (Envío Expedito)
ToS	2	Retardo	0 Normal
			1 Mínimo
	3	Caudal Eficaz	0 Normal
			1 Máximo
	4	Descarte	0 Normal
			1 Mínimo
	5	Costo	0 Normal
			1 Alto
trTCM	6 y 7	Color de acuerdo a los parámetros de medición.	01 Verde
			10 Amarillo
			11 Rojo

Servicios Diferenciados ofrece dos tipos de Servicios, aparte de Mejor Esfuerzo, que son: *Servicio Premium* y *Servicio Asegurado*, según el servicio es el tipo de aplicación o aplicaciones que estos manejarán. En la tabla III se muestra la clasificación de acuerdo al tipo de servicio y



posteriormente a las características que demanden ciertas aplicaciones, asignándoles de este modo un valor, que será tomado en cuenta por el clasificador.

Tabla III. Clasificación de acuerdo al tipo de servicio y de la aplicación.

SERVICIO	APLICACIÓN			ToS
<i>Premium</i>	video			1111
	voz			1110
<i>Asegurado</i>	Olímpico	Oro	FTP	0110
		Plata	WWW	0010
		Bronce	SMTp	0000

### III.8.2 MARCADOR Y MEDIDOR trTCM.

La implementación tanto del medidor como del marcador se hacen de acuerdo a un mecanismo llamado **two-rate Three Color Marker (trTCM)**, el cual se encarga de medir los paquetes IP y marcarlos de acuerdo a tres colores: verde, amarillo y rojo, esta marcación depende del valor de dos parámetros, los cuales a su vez dependerán del perfil de tráfico establecido en el SLA. Estos parámetros son: La tasa de información comprometida (*CIR Committed Information Rate*) y la tasa pico de información (*PIR Peak Information Rate*).

Los paquetes marcados con el color verde son los que se encuentran dentro del valor CIR, ya sea igual o por debajo de este; los paquetes marcados con el color amarillo hacen referencia al tráfico que se encuentra por arriba del CIR pero dentro (por abajo o igual) del PIR; y por último, los paquetes marcados con color rojo son aquellos que sobrepasan ambos valores, como se muestra en la figura 14. Los colores van asociados con un determinado valor del DS y el marcador es el que se encarga de colocar dicho valor, para que el tráfico pueda ser tratado de acuerdo a su perfil de tráfico agregado [RFC2698].

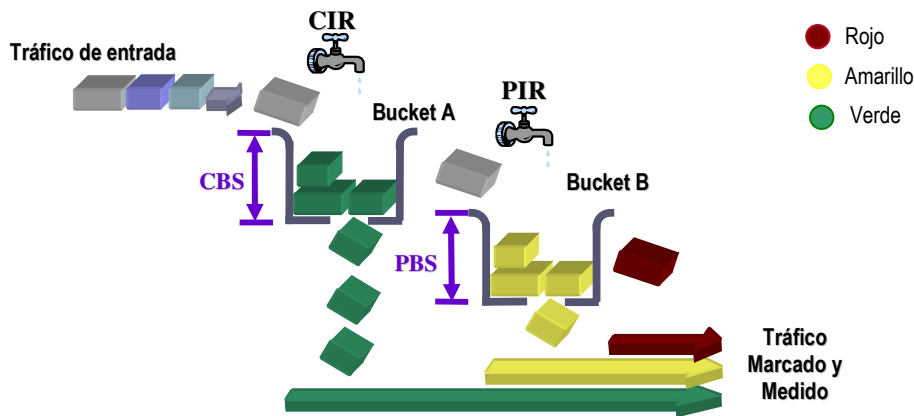


Figura 14.- Medidor y Marcador trTCM.

Este mecanismo es especial para aplicaciones que requieran del comportamiento AF PHB, debido a que puede manejar tráfico a ráfagas y de este modo se asegura el envío de la información mediante dicho proceso de medición.

Estas características se tomaron en cuenta para la selección del mecanismo sobre el diseño del enrutador DiffServ, ya que cumple con los requisitos que demanda el servicio asegurado.

Para enrutadores con comportamiento EF PHB solo se toma en cuenta el valor del PIR, de tal modo que si el tráfico excede dicho valor, el paquete es inmediatamente descartado. En este caso el valor del CIR es igual que el PIR, por tal motivo se dice que los enrutador con comportamiento EF PHB operan sobre una línea virtual [Richard Forberg y Tim Hale, 2001].

### **Parámetros de Configuración**

La configuración del trTCM se basa en el establecimiento de cuatro parámetros de tráfico que son: el CIR y un tamaño de ráfaga comprometido CBS (Committed Burst Size), asociada con el valor del CIR, el PIR y un tamaño de ráfaga pico PBS (Peak Burst Size).

Los valores del PIR y CIR se miden en bits o bytes por segundo. Los valores de PBS y CBS se miden en bits o bytes y ambos deben ser mayores que 0. Se recomienda que los valores pico

sean igual o mayores al tamaño mas grande posible de paquetes pertenecientes a un flujo de tráfico.

El comportamiento del medidor se especifica en términos de dos token bucket A y B, con tasas de llegadas de tokens CIR y PIR respectivamente, el máximo tamaño de la cubeta del token bucket A está dado por el CBS y para el token bucket B por el PBS. Denotando  $T_a$  y  $T_b$  como los contadores de tokens para cada TB. Ambos token buckets se inicializan totalmente llenos al tiempo cero, por lo tanto  $T_a(0) = CBS$  y  $T_b(0) = PBS$ , estos contadores se incrementaran a una tasa CIR y PIR respectivamente y se decrementan conforme los paquetes usan los tokens, a manera de permisos, para ser transmitidos.

Cuando un paquete de longitud  $L$  llega a un determinado tiempo  $t$ , pueden ocurrir cualquiera de los siguientes estados:

- Si  $T_b(t) - L < 0$ , el paquete será marcado con color rojo.
- Si  $T_a(t) - L < 0$ , el paquete será marcado con amarillo y el contador de tokens  $T_p$  se decrementa  $L$  veces.
- Si  $T_a(t) - L > 0$ , el paquete será marcado de color verde y tanto el contador  $T_a$  como el contador  $T_b$  serán decrementados.

De este modo se tiene que el marcador refleja los resultados de la medición mediante la colocación de un código DS sobre el campo ToS del encabezado IP del paquete. Los valores de la tasa de transmisión y el tamaño de ráfaga ayudan en la creación de varias capacidades de ancho de banda y diferentes niveles de tolerancia de ráfagas.

### **III.8.3 MECANISMOS DE DESCARTE.**

#### **Control de Admisión WRED.**

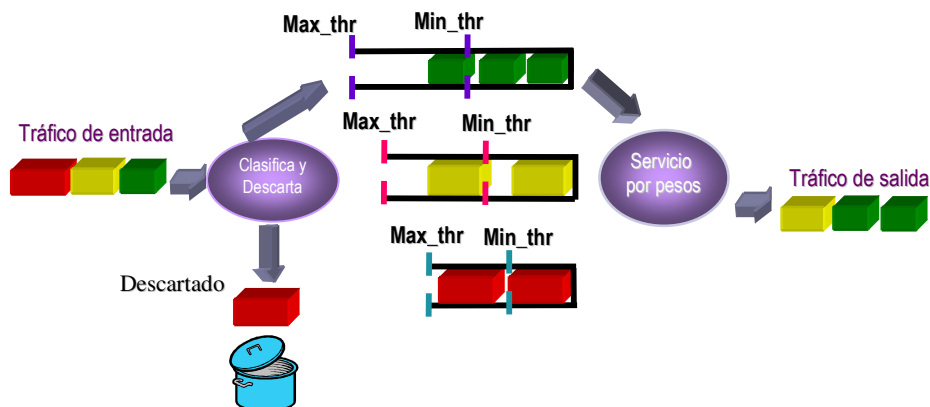
El objetivo principal de WRED se centra en identificar el momento cuando el tráfico que circula sobre una red comienza a exceder los umbrales de tráfico establecido, pero mucho antes de que

comiencen los niveles de congestión. Por lo tanto evita que la red llegue a este punto. Como se había explicado anteriormente, este mecanismo trabaja igual que el mecanismo RED, pero a diferencia de este, WRED puede manejar diferentes flujos de tráfico, los cuales atenderá en base a una repartición de ancho de banda. De este modo se pueden tener diferentes colas con distintos valores de umbral y que comparten el uso del ancho de banda en distintos porcentaje.

El mecanismo WRED requiere de cuatro parámetros de configuración, que son: el mínimo valor de umbral ( $\text{mín\_thr}$ ), el máximo valor de umbral ( $\text{máx\_thr}$ ), la máxima probabilidad de descarte y el peso de la cola (figura 15).

Cuando un paquete de longitud  $B$  llega al mecanismo WRED se hace el cálculo del tamaño promedio de la cola (AQS), el cual esta dado por el tamaño anterior de la cola mas la longitud del paquete  $B$  que arribo. Una vez calculado el AQS actual pueden ocurrir cualquiera de los siguientes tres estados:

- Si el tamaño promedio de la cola  $\text{AQS} < \text{Mín\_thr}$ , el paquete que arribo es encolado para posteriormente poder ser transmitido.
- Si el tamaño promedio de la cola se encuentra entre el valor mínimo y el valor máximo de umbral ( $\text{Máx\_thr} > \text{AQS} > \text{Mín\_thr}$ ), el paquete no es ni encolado, ni descartado de inmediato, sino que se procede al cálculo de una probabilidad de descarte y en base a esta el paquete será encolado o descartado.
- Y si el tamaño promedio de la cola  $\text{AQS} > \text{Máx\_thr}$ , el paquete será descartado automáticamente.



**Figura 15.- Mecanismo WRED.**

La probabilidad de descarte depende de un valor mínimo de umbral, un valor máximo de umbral, un valor límite de probabilidad de descarte y el tamaño actual de la cola. Cuando AQS esta por arriba del Mín\_thr, WRED comienza a descartar paquetes de acuerdo a está probabilidad. La tasa de paquetes descartados aumenta de manera lineal conforme AQS aumenta, hasta que el AQS alcanza el valor Máx\_thr. La probabilidad de descarte se encuentra dada por la siguiente expresión:

$$P_{\text{descarte}} = P_{\text{max}} * \left( \frac{\text{AQS} - \text{Min\_thr}}{\text{Max\_thr} - \text{Min\_Thr}} \right)$$

(3)

El mínimo valor de umbral debe ser lo suficientemente grande como para maximizar la utilización del enlace. Si este valor de umbral es muy pequeño, se descartarán paquetes innecesariamente y el enlace no será aprovechado al máximo.

La diferencia entre el máximo valor de umbral y el mínimo valor de umbral debe ser suficientemente grande como para contrarrestar la sincronización global, que se refiere a la perdida del mismo paquete varias veces. Ya que como se recordara los datos manejan el protocolo TCP, el cual manda acuse de recibo cuando no se recibe un paquete que ya fue enviado, lo que trae como consecuencia el reenvío del mismo paquete.

Estas características hacen a WRED ideal para la implementarlo en la etapa subsiguiente a la marcación y medición, ya que el trTCM maneja tres flujos con diferentes prioridades, y con la finalidad de mantener estas prioridades, mediante WRED se puede variar la probabilidad de descarte conforme la prioridad del flujo y a la vez evita llegar a niveles de congestionamiento.

### **Calendarizador PWFQ.**

Uno de los sistemas más usados para la calendarización de tráfico es el sistema de prioridades PQ, donde a cada flujo de paquetes se les asigna una cierta prioridad y dependiendo de esta, los paquetes serán atendidos una vez que el enlace esté libre. Al asignar una prioridad a

un flujo determinado se debe tomar en cuenta el retardo que va a sufrir dicho tráfico, por lo tanto este mecanismo de calendarización presenta el inconveniente de que para flujos de tráfico con la prioridad más baja se tienen grandes retardos.

WFQ trabaja mediante un tiempo virtual final que es procesado para cada paquete en cada cola y el paquete con el menor tiempo virtual final se selecciona primero para ser transmitido. El tiempo virtual final de cada paquete depende de la fracción de ancho de banda reservada para el flujo al que corresponde el paquete. Para aplicaciones que requieren retardos pequeños es necesario reservar una fracción mayor de tiempo compartido. Por este motivo para aplicaciones donde el volumen de tráfico es pequeño y el retardo debe ser mínimo se tiene un desaprovechamiento en el uso del enlace.

WFQ es necesario cuando se tienen diferentes clases de servicio, las cuales requieren de un mínimo uso del enlace de salida, con la opción de usar más y PQ es necesario cuando se requiere que alguna clase de servicio sea tratada con mayor prioridad que el resto.

Tomando las ventajas de ambos mecanismos se hace una combinación de estos obteniendo un mecanismo llamado PWFQ. Por lo tanto, PWFQ incrementa la flexibilidad de construir diferentes PHB's por medio de múltiples colas con diferentes niveles de prioridad, y cada uno con diferente peso (tiempos diferentes sobre el uso del enlace). Esta flexibilidad otorga una mayor granularidad sobre los servicios [Richard Forbeng y Tim Hale, 2001].

PWFQ se basa en la idea de cambiar la granularidad del tiempo virtual para todos los paquetes con tiempos similares, los cuales serán calendarizados de acuerdo a sus prioridades. Para ello se introduce el mecanismo de ventana deslizante.

La ventana define un intervalo de tiempo virtual en el cual los paquetes con tiempos virtuales que caigan dentro de esta ventana se consideran que tienen tiempos virtuales similares, estos paquetes serán atendidos de acuerdo a la prioridad con la que fueron marcados anteriormente, así

como lo muestra la figura 16. El tiempo de ventana siempre comenzará a partir del tiempo actual y la duración será de un valor fijo.

Ajustando la prioridad de una sesión se habilita la opción de que paquetes serán enviados primero y ajustando el tamaño de la ventana deslizante se puede determinar que tan grande es la granularidad a la que se puede garantizar una tasa de servicio para cada sesión [Song Wang et al., 2000].



Figura 16.- Calendarizador PWFQ.

#### III.8.4 ACONDICIONADOR LEAKY BUCKET.

Como se explicó en la sección III.7.4, el acondicionamiento de tráfico es necesario para evitar el tráfico en ráfagas; el mecanismo Leaky Bucket logra esto mediante la configuración del valor del chorro de salida "leaky", que representa la velocidad del enlace de salida.

El tamaño de la cubeta, que a su vez representa el tamaño de la cola, dependerá del retardo permitido o bien, del tamaño de ráfaga permitido; una vez que se excede este valor, los paquetes que arriben serán descartados automáticamente. Para implementar este mecanismo se configura un contador, el cual será incrementado cada vez que arribe un paquete al acondicionador y decrementado cuando se le dé servicio. Así mismo este valor será comparado una vez que llegue

el paquete con el valor de la cubeta para verificar la disponibilidad de espacio en la misma y si este puede ser insertado o será descartado.

### III.8.5 ENRUTADORES DE FRONTERA Y NÚCLEO DIFFSERV.

Para que un enrutador pueda otorgar tanto el Servicio Premium como el Servicio Asegurado, se maneja un modelo llamado *Arquitectura de 2-bits*, la cual se basa en la marcación del tipo de servicio sobre el campo ToS del paquete.

Al llegar un paquete, éste es clasificado en base al tipo de servicio y los paquetes marcados con Servicio Premium se envían directamente hacia un acondicionador ya que este servicio no soporta datos en ráfagas, ni retardos y de este modo el envío es casi inmediato. Los paquetes marcados como tipo Asegurado se mandan al bloque TCB, el cual encierra las etapas de medición, marcación, descarte y acondicionamiento para que estén conforme al perfil de tráfico establecido en el SLA, así como lo muestra la figura 17 [Markus Isomaki, 1998].

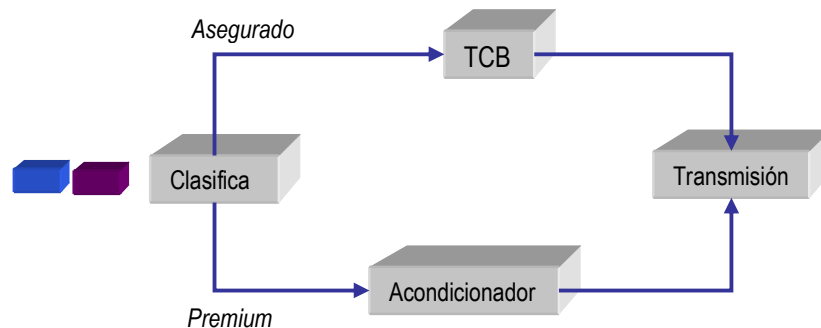


Figura 17.- Arquitectura de 2-bits para enrutadores DiffServ.

Tomando en cuenta la arquitectura de 2-bit, se tiene que los paquetes marcados con el servicio Premium van directo al acondicionador para posteriormente ser transmitidos y los paquetes marcados con el servicio Asegurado van directos a la etapa de medición y marcación, para después pasar por la etapas de control de admisión y calendarización y por último por la etapa de acondicionamiento de tráfico.



La figura 18 muestra el esquema de un enrutador de frontera DiffServ completo, el cual está basado en la arquitectura DiffServ y en los mecanismos mencionados anteriormente.

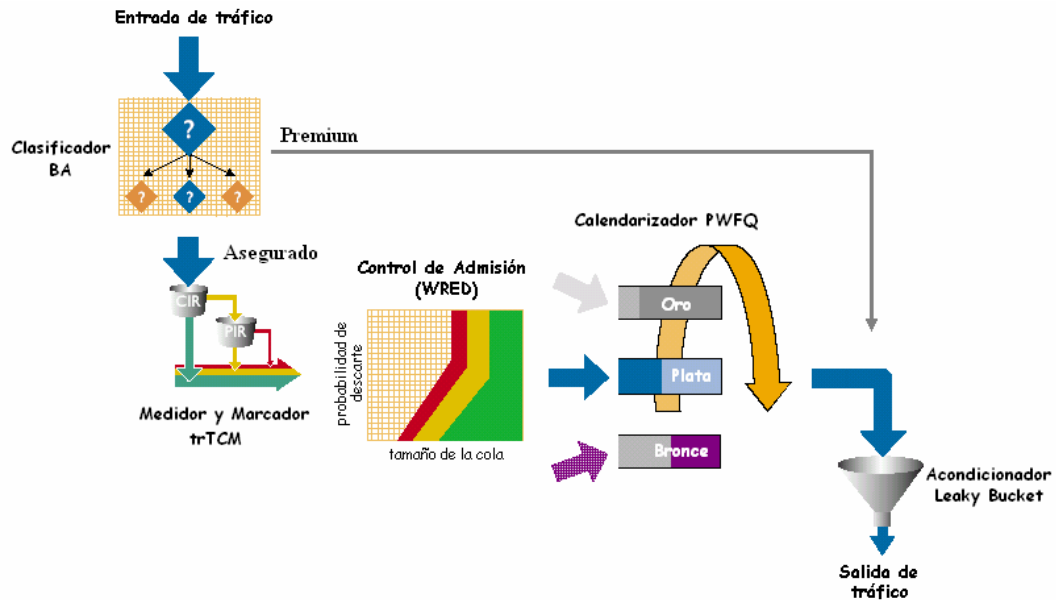


Figura 18.- Enrutador de frontera DiffServ.

La arquitectura de los enrutadores de núcleo es mucho más sencilla ya que como se recordará, estos enrutadores solo realizan funciones de reclasificación y acondicionamiento de tráfico, es recomendable realizar alguna etapa de calendarización. La figura 19 muestra el esquema de un enrutador de núcleo basado en la arquitectura de 2-bits.

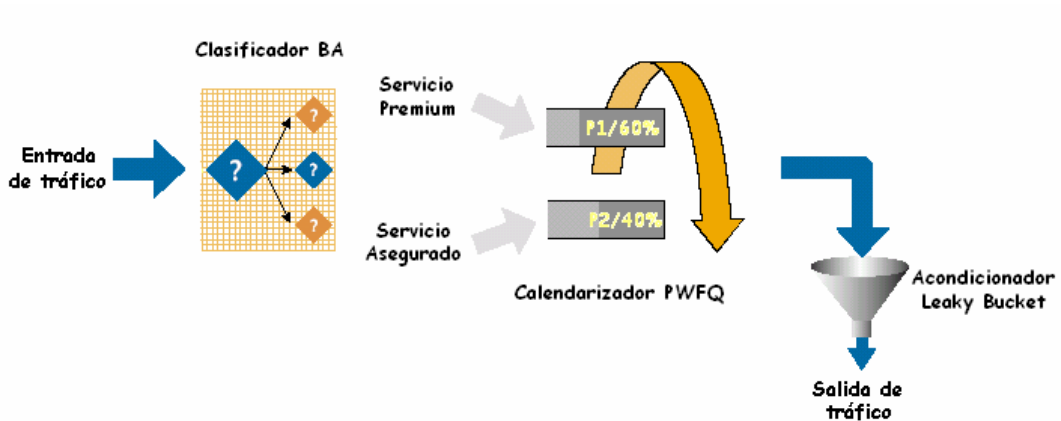


Figura 19.- Enrutador de núcleo DiffServ.

En el siguiente capítulo se presentan los modelos de simulación implementados en el simulador OPNET Modeler para enrutadores de frontera y un enrutadores de núcleo DiffServ, así como el modelo de red donde se implementó el protocolo DiffServ.

# IX. IMPLEMENTACIÓN DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN

## IV.1 INTRODUCCIÓN.

Ya definido el modelo de estudio, se procede a su implementación mediante el uso de un simulador de redes de comunicaciones llamado OPNET Modeler, el cual cuenta con las herramientas necesarias para la implementación del modelo DiffServ.

Dicho modelo se implementó sobre la dorsal principal que define la red de Internet 2, conocida también con el nombre de red CUDI (Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet 2), la cual fue implementada en base a las demandas de mayor capacidad y velocidad que solicitaban las redes de datos para aplicaciones de alta tecnología, con la finalidad de dotar a la comunidad científica y universitaria de México con una red de telecomunicaciones que les permita desarrollar aplicaciones científicas y educativas de alta tecnología a nivel mundial. La figura 20 muestra la constitución de esta dorsal.

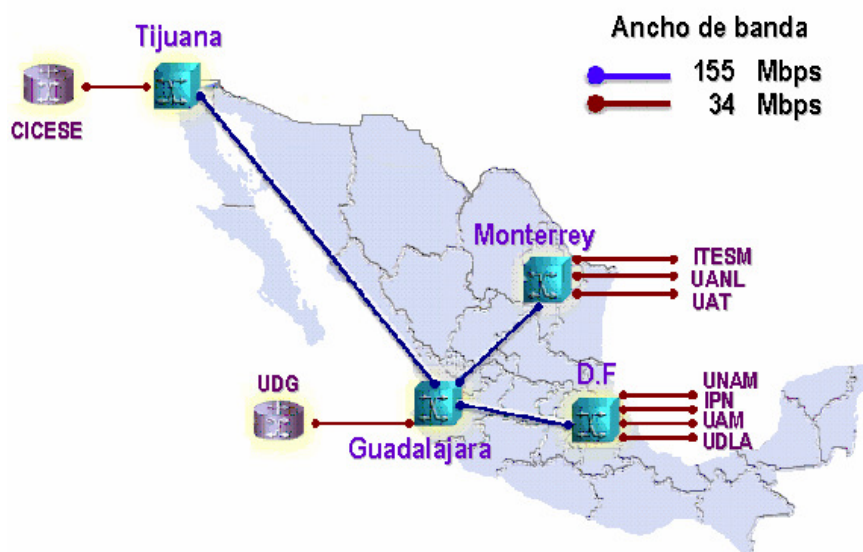


Figura 20.- Dorsal de Internet 2 México.

## IV.2 MODELO DE RED.

El modelo de red implementado en OPNET omite el nodo de Monterrey. Esto se hizo con la finalidad de optimizar los tiempos de simulación. En la figura 21 podemos observar cuatro tipos de nodos, que son: *nodos generadores de tráfico*, *nodos de Asociados Académicos*, *nodos Gigapops* y *nodos de recepción de tráfico y captura de estadísticas*.

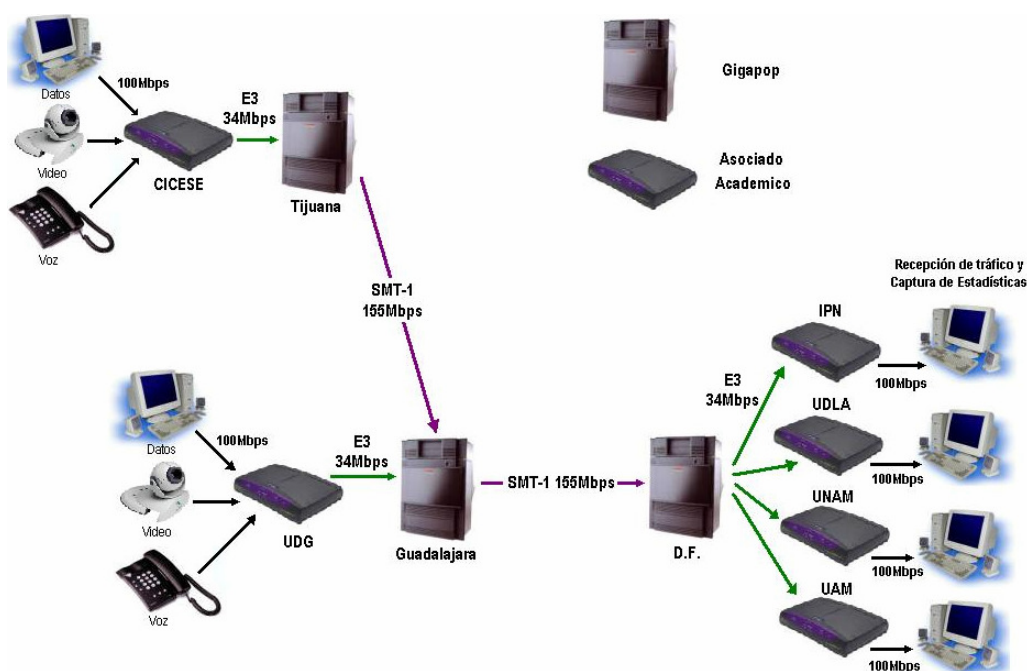


Figura 21.- Modelo de red.

Cada uno de los nodos generadores de tráfico es de un solo tipo de servicio, que pueden ser de video, voz o datos. El servicio de datos se clasifica en tres: FTP (File Transfer Protocol), WWW (Word Wide Web) y SMTP (Simple Mail Transfer Protocol). Este tipo de nodos usan enlaces Fast Ethernet para conectarse a los nodos de Asociados Académicos (CICESE y UDG). Los nodos de Asociados Académicos pertenecen a CICESE, UDG, UNAM, IPN, UAM y UDLA, los cuales usan enlaces del tipo E3 a 34Mbps para conectarse a los nodos Gigapops que se encuentran ubicados en Tijuana, Guadalajara y el D.F. El enlace que une a estos tres nodos es del tipo SMT-1 a 155Mbps. Los nodos de recepción de tráfico y captura de estadísticas se conectan a los nodos de Asociados Académicos (IPN, UNAM, UDLA y UAM), mediante enlaces del tipo Fast Ethernet.

El modelo de los enlaces es del tipo unidireccional, con velocidad de transmisión y retardo de propagación configurable. Gracias a estas características de simulación se lograron simular cada uno de los enlaces mencionados anteriormente, teniendo en cuenta que el parámetro de retardo de propagación se configuró como el inverso de la velocidad de la luz para los tres tipos de enlaces, siendo la única diferencia entre ellos, la velocidad de transmisión.

### IV.3 MODELO DE NODOS.

Como se recordará, el objetivo de esta investigación se centra en la implementación de redes con calidad de servicio por medio del protocolo DiffServ. Por lo tanto, los modelos de nodos definen la arquitectura de los enrutadores de frontera y de núcleo DiffServ presentados en el capítulo III, así como los modelos implementados para los nodos generadores de tráfico y los nodos de recepción de tráfico y captura de estadísticas, los cuales se muestran a continuación.

#### IV.3.1 MODELO DE NODOS GENERADORES DE TRÁFICO.

En la figura 22 se muestra el modelo de un nodo generador de tráfico, el cual está compuesto por una fuente que genera paquetes IP y su transmisor. Este modelo es el mismo para las cinco fuentes de tráfico (voz, video, FTP, WWW y SMTP), la diferencia radica en el modelo de proceso de cada fuente generadora de paquetes IP, las cuales se explican con mayor detalle en el Apéndice A.



Figura 22.- Modelo de nodos generadores tráfico.

#### IV.3.2 MODELO DE NODO PARA ENRUTADORES DE FRONTERA DIFFSERV.

En la figura 23 se muestra el modelo de nodo para un enrutador de frontera. Este modelo está constituido por seis receptores destinados a la recepción del tráfico proveniente de los nodos generadores de tráfico, doce bloques de procesos, de los cuales uno representa el proceso para el clasificador BA, tres representan el proceso para el mecanismo trTCM (uno para la medición y marcación del servicio oro, otro para la medición y marcación del servicio plata y uno mas para la medición y marcación del servicio bronce), tres bloques pertenecen al mecanismo WRED para el control de admisión de los servicios oro, plata y bronce (uno para cada tipo de servicio), un bloque de proceso corresponde al mecanismo PWFQ, que se encarga de la calendarización del servicio olímpico, así como cuatro bloques de proceso para el mecanismo Leaky Bucket, de los cuales uno pertenece al acondicionamiento de tráfico AF, dos para EF (voz y video respectivamente) y uno mas para Mejor Esfuerzo. Y por último el modelo incluye un transmisor encargado de enviar el tráfico hacia el dominio DiffServ.

Este modelo de nodo para enrutadores de frontera DiffServ se implementó en los nodos de los Asociados Académicos CICESE y UDG, ya que ambos representan los nodos de ingreso de tráfico hacia el dominio DiffServ.

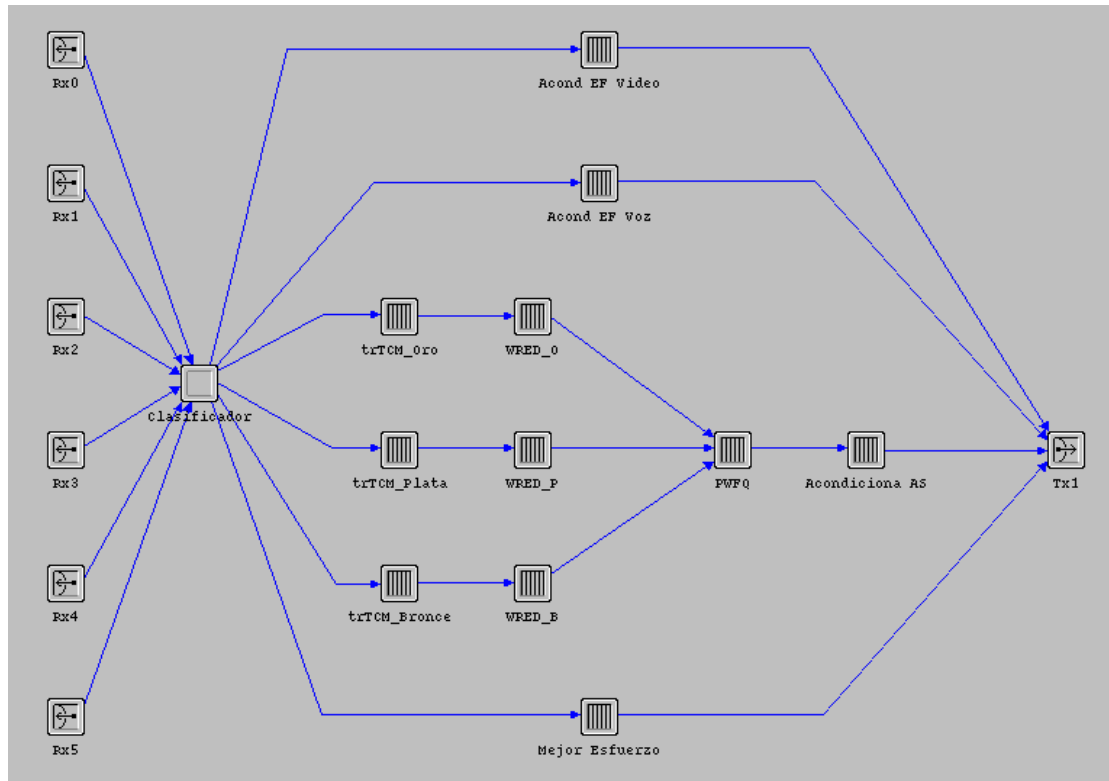


Figura 23.- Modelo de nodo para enrutadores de frontera DiffServ.

### IV.3.3 MODELO DE NODO PARA ENRUTADORES DE NÚCLEO DIFFSERV.

En la figura 24 se muestra el modelo de nodo para un enrutador de núcleo DiffServ. Este modelo está constituido por un receptor destinado a la recepción del tráfico proveniente del nodo de frontera DiffServ, cuatro bloques de procesos, de los cuales uno representa el proceso para el clasificador, basando la clasificación solo en el tipo de servicio (Premium, Asegurado y Mejor Esfuerzo). Un bloque de proceso para el mecanismo PWFQ y dos bloques de proceso para el acondicionamiento de tráfico, uno de ellos para Mejor Esfuerzo y otro para el tráfico proveniente de la calendarización. Por último, un transmisor para el envío del tráfico hacia el siguiente enrutador de núcleo DiffServ.

Este modelo de nodo se implementó en los nodos Gigapops Tijuana, Guadalajara y D.F., ya que estos representan los nodos internos del dominio DiffServ.

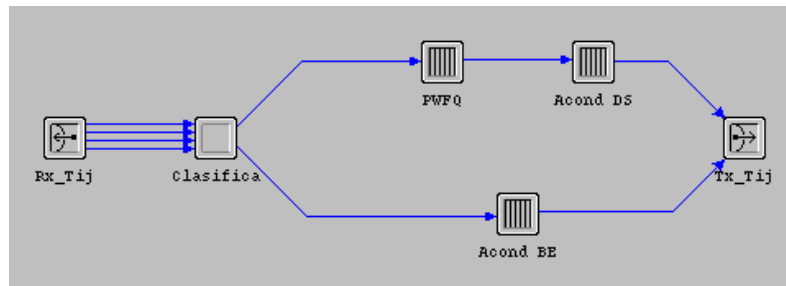


Figura 24.- Modelo de nodo para enrutadores de núcleo DiffServ.

#### IV.3.4 MODELO DE NODO PARA RECEPCIÓN DE TRÁFICO Y CAPTURA DE ESTADÍSTICAS.

Este modelo representa el nodo destino de una conexión extremo a extremo. Dentro de él se almacenan los parámetros que miden la calidad de servicio que son: retardo extremo a extremo, variación de retardo y pérdida de paquetes. En la figura 25 se muestra el modelo de nodo para la recepción y captura de estadísticas que se encuentra formado por un receptor y un bloque de proceso, este último se encarga de recopilar dos tipos de estadísticas: vectoriales y escalares. Las estadísticas vectoriales representan la información correspondiente al comportamiento de una variable de interés con respecto al tiempo, como puede ser la variación del retardo con respecto al tiempo; y las estadísticas escalares representan los valores de la variable de interés al final de la simulación.

Las estadísticas vectoriales se utilizaron para el análisis del comportamiento temporal de los modelos simulados y las estadísticas escalares se usaron para capturar los valores promedio de retardo, variación de retardo y pérdida de paquetes.

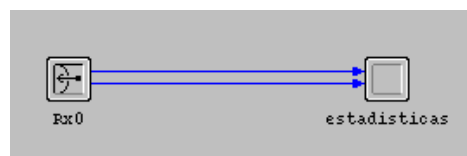


Figura 25.- Modelo de nodo para recepción de tráfico y captura de estadísticas.



## IV.4 MODELO DE PROCESOS.

### IV.4.1 MODELO DE PROCESO PARA EL CLASIFICADOR BA.

En la figura 26 se muestra el modelo de proceso que se implementó para el clasificador BA, el cual presenta tres estados: **Inicio**, **Espera** y **Clases**. El primer estado indica el inicio del proceso, el estado de **Espera** representa el tiempo en el cual no ha llegado ningún paquete. Una vez que arriba un paquete se cambia al estado **Clases**, donde se lleva a cabo la clasificación de paquetes por medio del campo ToS.

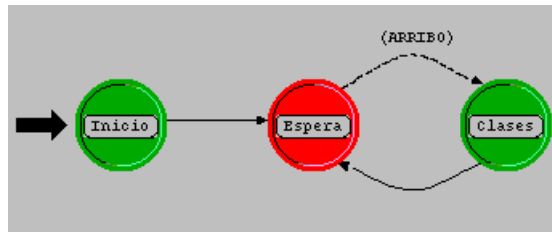


Figura 26.- Modelo de proceso para el clasificador BA.

El diagrama de flujo que se implementó en la programación de este clasificador se muestra en la figura 27. Como primer paso se verifica la llegada de algún paquete, si es así, se obtienen los valores del campo ToS ubicado en el encabezado IP del paquete y se toma el valor del primer bit para saber si es tráfico que será tratado como DiffServ o Mejor Esfuerzo. Si es tráfico DiffServ, se verifica el tipo de aplicación, teniendo que el tratamiento para el tráfico de voz o video se clasificará en base al comportamiento EF PHB, y si se trata de tráfico del tipo FTP, WWW o SMTP, éstos se clasificarán en base al comportamiento AF PHB. A su vez el tráfico del tipo FTP es clasificado dentro del servicio oro, el tráfico WWW dentro del servicio plata y el tráfico SMTP dentro del servicio bronce.

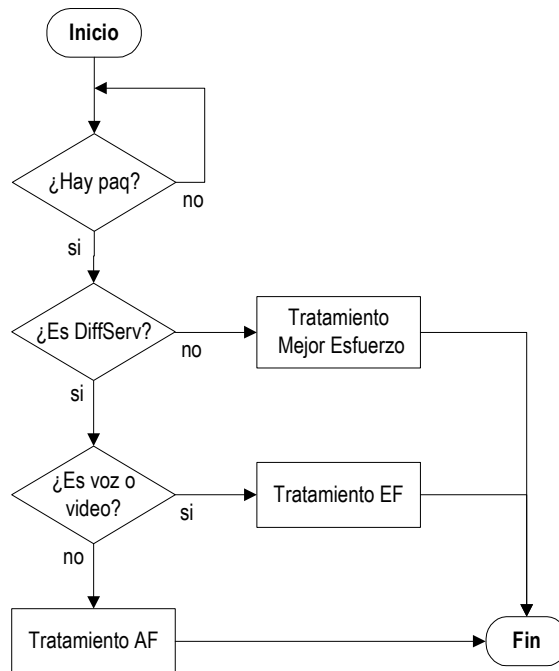
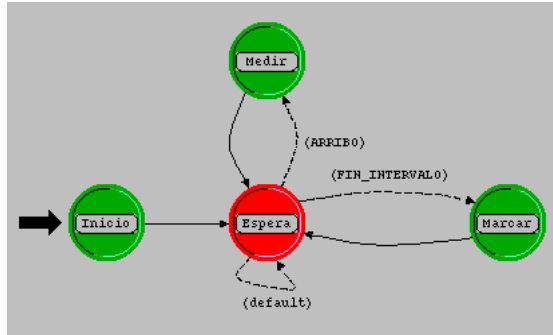


Figura 27.- Diagrama de flujo del clasificador BA.

#### IV.4.2 MODELO DE PROCESO PARA EL MECANISMO trTCM.

El modelo de proceso para el mecanismo trTCM es muy similar a los procesos implementados en los mecanismos WRED y PWFQ, ya que los tres se basan en cuatro estados. Los estados del proceso trTCM son: **Inicio**, **Espera**, **Medir** y **Marcar**, como se muestra en la figura 28.

El primer estado representa el inicio del proceso. Una vez que llega un paquete al proceso, este pasa al estado Medir, de lo contrario permanecerá en el estado de Espera. Dentro del estado Medir, se obtiene la longitud en bits del paquete IP, para poder ser comparado con los parámetros de configuración del token bucket, que son el CBS, PBS, CIR y PIR. De este modo los paquetes se clasificarán como dentro o fuera del perfil de tráfico.



**Figura 28.-** Modelo de proceso para el mecanismo trTCM.

Se programa un intervalo de tiempo, durante el cual se generan un cierto número de tokens. Así que los paquetes que arriben y sean medidos durante este periodo serán enviados al estado Marcar, para posteriormente ser marcados como verdes, amarillos o rojos, dependiendo de los resultados de la medición. Los parámetros CBS, PBS, CIR y PIR tendrán valores diferentes, dependiendo si el mecanismo trTCM pertenece al servicio oro, plata o bronce.

El diagrama de flujo que se implementó en la programación del mecanismo trTCM se muestra en la figura 29. Como primer paso se configuran los parámetros de entrada, CIR, PIR, CBS y PBS, se inicializan los contadores  $t_a = CBS$  y  $t_b = PBS$ . Se verifica la llegada de algún paquete, para posteriormente obtener la longitud del mismo, esta longitud se compara con el valor del CBS, si es menor o igual se verifica la disponibilidad de tokens en la cubeta (verifica la disponibilidad de tokens por medio del contador  $t_a$ ), si hay los suficientes tokens el paquete es marcado con color verde (indica que el tráfico está dentro del perfil de tráfico) y posteriormente es transmitido, al mismo tiempo el contador  $t_a$  se decrementa conforme la longitud del paquete. Si la longitud del paquete excede el valor del CBS o el valor del CIR, pero es menor o igual al PBS, se verifica la disponibilidad de tokens en la cubeta, si hay suficientes tokens (verifica la disponibilidad de tokens por medio del contador  $t_b$ ) el paquete es marcado con color amarillo (indica que el tráfico está en los límites del perfil de tráfico) y posteriormente es transmitido, tanto el contador  $t_a$  como el contador  $t_b$  son decrementados conforme la longitud del paquete.

Si el paquete excede el valor PBS o el valor de PIR el paquete es marcado con color rojo lo que indica que el paquete está fuera del perfil de tráfico, este es transmitido sin decrementar

ninguno de los contadores. El incremento de los tokens se realiza mediante interrupciones, cada determinado tiempo.

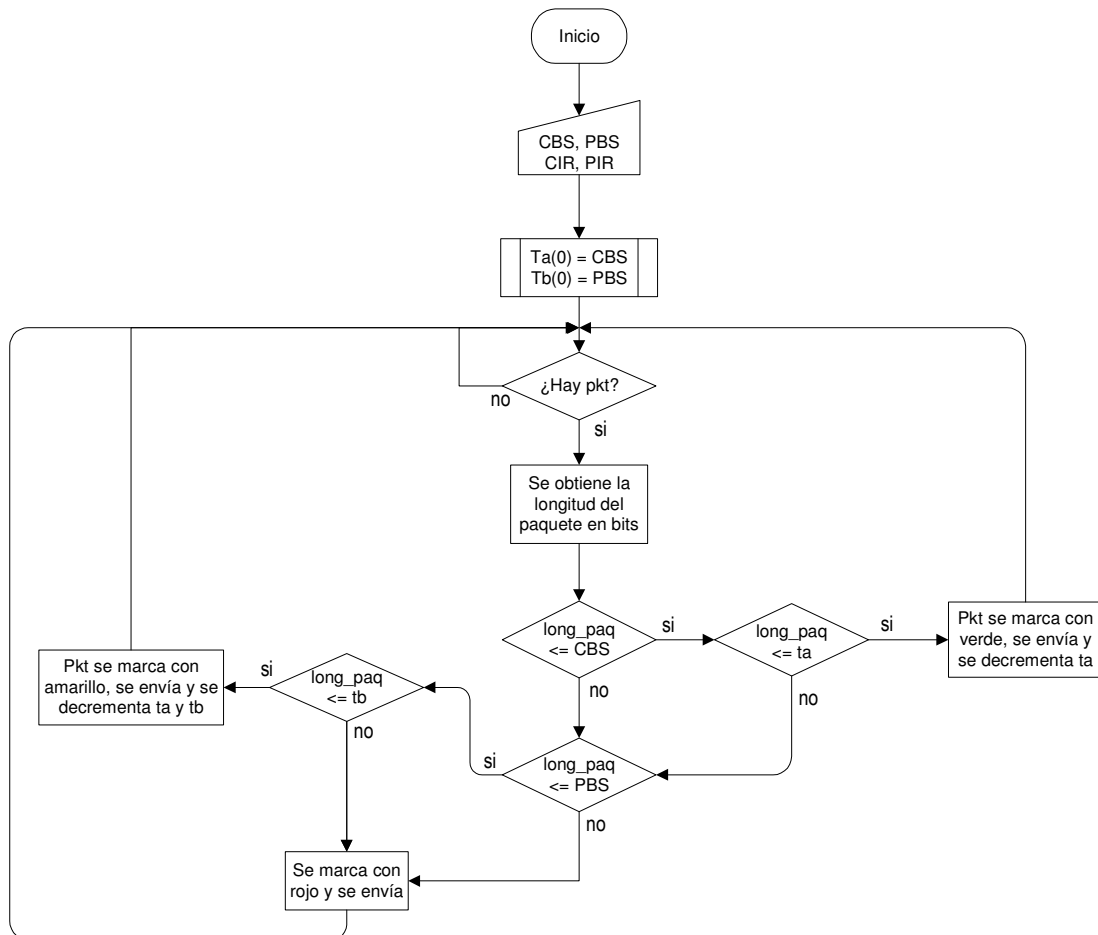


Figura 29.- Diagrama de flujo del mecanismo trTCM.

#### IV.4.3 MODELO DE PROCESO PARA EL MECANISMO WRED.

El modelo de proceso para el mecanismo WRED, como se mencionó anteriormente se basa en cuatro estados: **Inicio**, **Espera**, **Descarte** y **Servicio**, como se muestra en la figura 30.

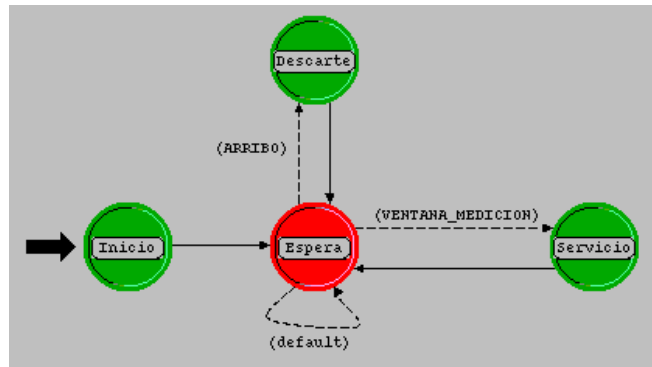


Figura 30.- Modelo de proceso para el mecanismo WRED.

El primer estado representa el inicio del proceso. Una vez que llega un paquete el proceso pasa al estado Descarte, de lo contrario permanecerá en el estado de Espera.

Dentro del estado Descarte, se obtiene el color del paquete y su longitud en bits, dependiendo del color, se tiene un valor específico sobre los parámetros de configuración del mecanismo, que son el mínimo y máximo valor de umbral de la cola y la probabilidad máxima de descarte. La longitud del paquete se adiciona a un parámetro llamado AQS que se refiere al tamaño de la cola actual. Este valor se compara con los valores de umbral de la cola, de tal modo que si AQS es menor o igual al mínimo valor de umbral el paquete es encolado para su posterior transmisión, por el contrario, si AQS excede el valor mínimo de umbral, pero está dentro del valor máximo de umbral, se calcula una probabilidad de descarte y en base a este valor el paquete es encolado o descartado. Si AQS excede el valor máximo de umbral, el paquete es descartado automáticamente. La transmisión de paquetes se hace conforme a los pesos que se les asigna a cada cola.

El diagrama de flujo que se implementó en la programación del mecanismo WRED se muestra en la figura 31. Primeramente se configuran los parámetros de entrada, que son el mínimo y máximo valor de umbral, así como el peso para cada cola, se inicializa el valor actual de la cola en  $AQS=0$ , lo que significa que no hay ningún paquete almacenado. Cuando un paquete arriba al proceso, se obtiene la longitud en bits y el color de marcación, si es verde se incrementa el AQS de la cola para paquetes verdes y se compara con el valor mínimo de umbral, si AQS no excede este valor el paquete es encolado, de lo contrario si AQS está entre el mínimo y máximo valor de

umbral se calcula la probabilidad de descarte, si este valor es menor a un número aleatorio el paquete será descartado, de lo contrario el paquete será encolado.

En caso de que el paquete sea amarillo o rojo se sigue el mismo procedimiento, solo que los parámetros de umbral para cada cola son diferentes, así como la probabilidad de descarte ya que depende de ambos valores y del AQS.

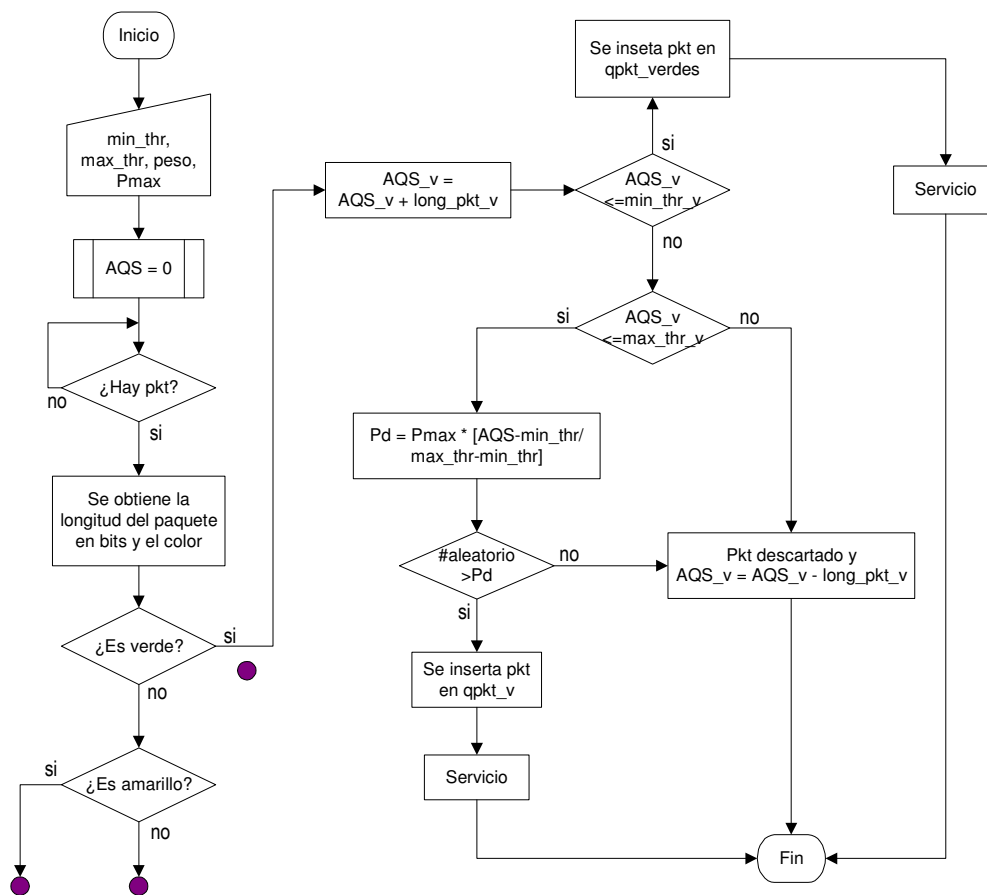


Figura 31.- Diagrama de flujo para el mecanismo WRED.

En el diagrama de la figura 31 se puede observar un bloque llamado Servicio, el diagrama de flujo se muestra en la figura 32, el cual hace referencia a la transmisión de paquetes en base al color de marcación y a los bits permitidos. Si hay paquetes encolados y la longitud del paquete es menor al número de bits permitidos, el paquete se envía y se actualiza el tamaño de la cola, restando el número de bits del paquete enviado.

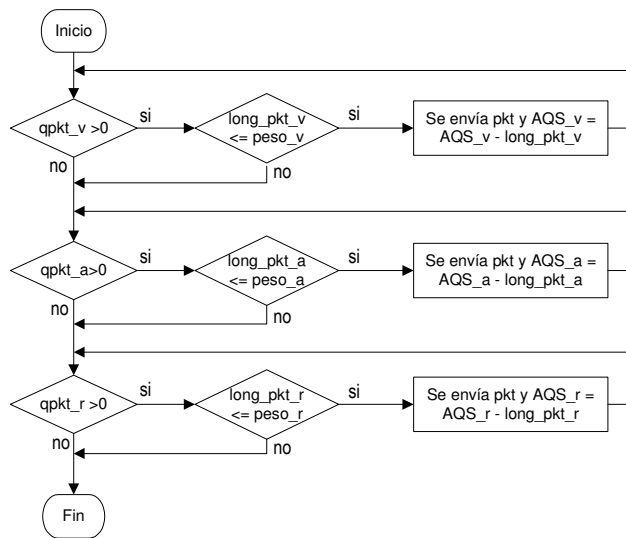


Figura 32.- Diagrama de flujo para el estado de Servicio de WRED.

#### IV.4.4 MODELO DE PROCESO PARA EL MECANISMO PWFQ.

El modelo de proceso para el mecanismo PWFQ, como se mencionó anteriormente, se basa en cuatro estados: **Inicio**, **Espera**, **Encola** y **Servicio**, como se muestra en la figura 33.

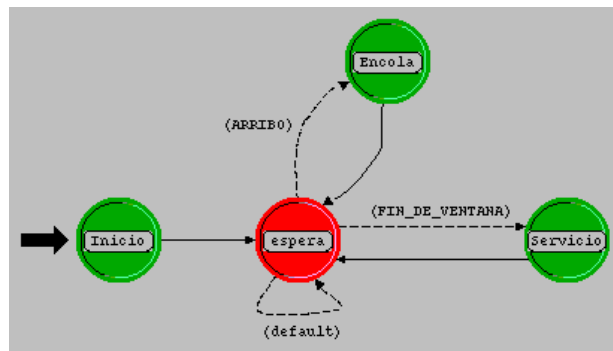


Figura 33.- Modelo de proceso para el mecanismo PWFQ.

El primer estado representa el inicio del proceso. Una vez que llega un paquete, el proceso pasa al estado Encola, de lo contrario permanecerá en el estado de Espera. Dentro del estado Encola, se obtiene el tipo de servicio al que pertenece dicho paquete (oro, plata o bronce). Dependiendo del tipo de servicio el paquete es guardado en colas con distintas prioridades de

servicio, este mecanismo posee un parámetro de configuración que es el tamaño de ventana deslizante. Durante este periodo, todos los paquetes que arriben serán encolados y una vez transcurrido el tiempo, el proceso cambia al estado Servicio para transmitir los paquetes encolados, vaciando primeramente la de mayor prioridad hasta llegar a la cola de menor prioridad.

El diagrama de flujo que se implementó en la programación del mecanismo PWFQ se muestra en la figura 34. Este modelo requiere de la configuración de dos parámetros de entrada que son el tiempo de ventana deslizante y el tamaño de las colas en bits. Ambos valores se inicializan en cero, indicando que no ha transcurrido el tiempo de captura de paquetes y que las colas se encuentran vacías.

Al llegar un paquete, el proceso obtiene la longitud del paquete IP en bits y el tipo de servicio al que éste pertenece, de tal modo que se incrementará el tamaño de la cola al que pertenezca dicho paquete. Si el tamaño de la cola actual sobrepasa la capacidad de la cola los paquetes empezaran a ser descartados, de lo contrario serán encolados en base al servicio hasta que el tiempo de ventana haya transcurrido. Una vez finalizado el tiempo de ventana se entra al estado de servicio.



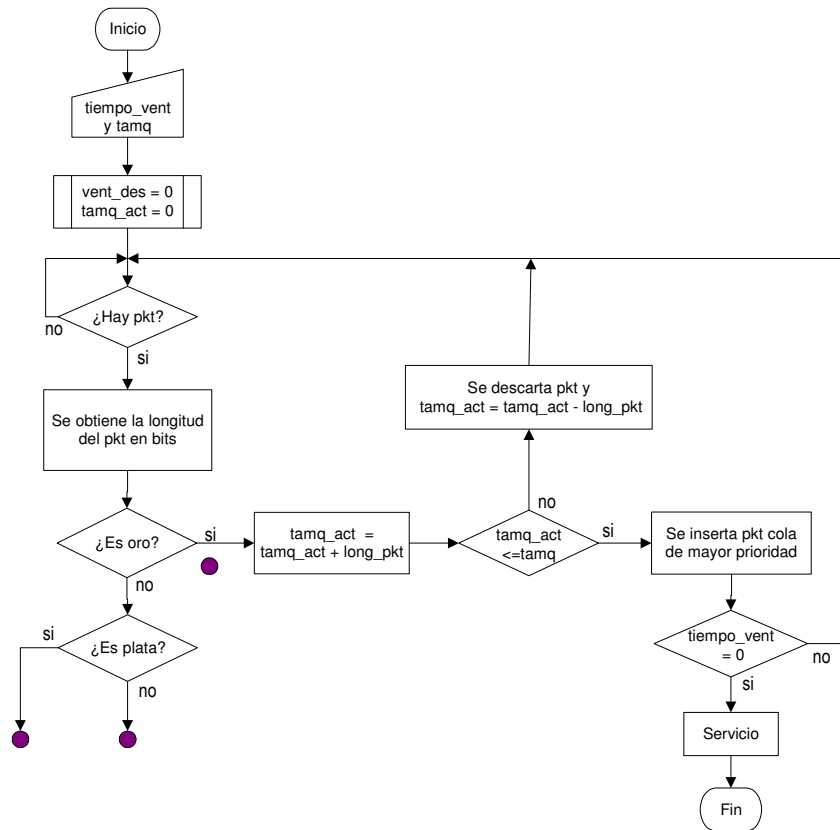


Figura 34.- Diagrama de flujo para el mecanismo PWFQ.

La figura 35 muestra el diagrama de flujo para el estado de servicio, donde se puede observar que el vaciamiento de las colas va a depender de la prioridad que se asignó a cada una de éstas. Por lo tanto, como el servicio oro es de mayor prioridad primero se vaciará esta cola, seguida de la cola para el servicio plata y por último la cola para el servicio bronce. Al momento que se están vaciando las colas se va actualizando el tamaño de ocupación de cada una de ellas restando la longitud en bits del paquete transmitido.

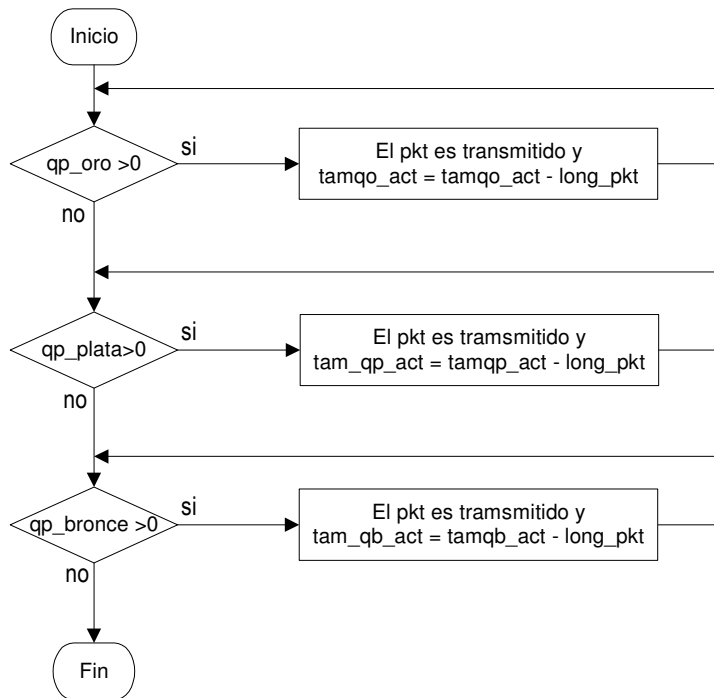


Figura 35.- Diagrama de flujo para el estado de Servicio de PWFQ.

Debido al valor obtenido para el tiempo de ventana, el algoritmo funciona como PQ.

#### IV.4.4 MODELO DE PROCESO PARA EL MECANISMO LEAKY BUCKET.

El modelo de proceso para el mecanismo Leaky Bucket, se compone de cinco estados: **Inicio**, **Arribo**, **Cubeta** y **Envía**, como lo muestra la figura 36.

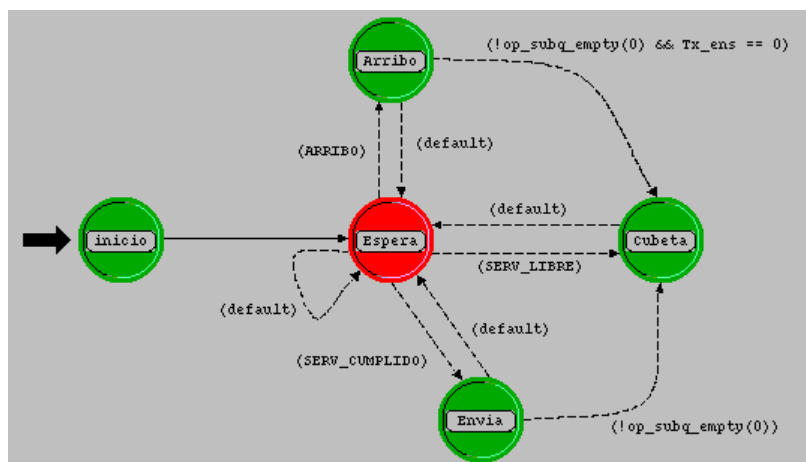
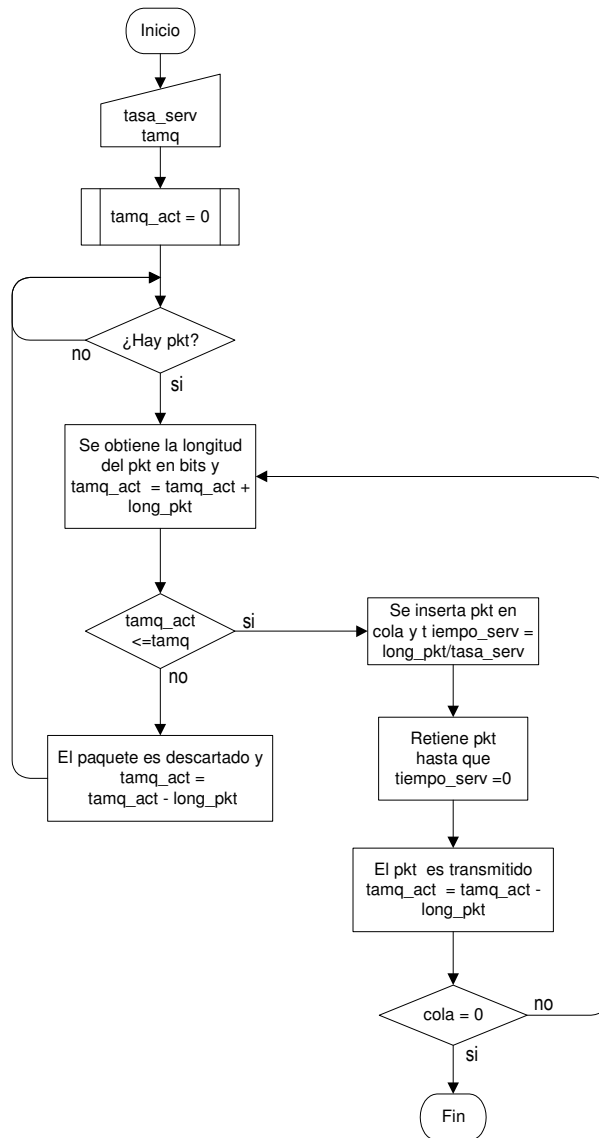


Figura 36.- Diagrama de proceso para el mecanismo Leaky Bucket.

El primer estado representa el inicio del proceso. Una vez que llega un paquete, se pasa al estado Arriba, de lo contrario el proceso permanecerá en el estado de Espera. Dentro del estado Arriba se obtiene la longitud del paquete en bits y se encola, posteriormente se pasa al estado Cubeta donde se calcula el tiempo que tardará el transmisor para dar servicio a dicho paquete, el tiempo de servicio se da en base a la tasa de transmisión que es un parámetro de configuración del mecanismo. Antes de salir del estado cubeta, se programa una interrupción para que ocurra dentro del tiempo de transmisión calculado; durante este tiempo el transmisor se marca como ocupado para simular que el paquete está siendo transmitido. Al darse la interrupción, el sistema pasará al estado Envía en el que enviará realmente.

El diagrama de flujo que se implementó en la programación del mecanismo Leaky Bucket se muestra en la figura 37.

Se configuran dos parámetros de entrada que son la tasa de servicio y el tamaño de la cola, la cual se da en bits y se inicializa en cero, lo que indica que la cola esta vacía. Al llegar un paquete se obtiene su longitud y se incrementa un contador que indica la ocupación de la cola. Si este contador no sobrepasa el tamaño de la cola, el paquete es encolado y se calcula el tiempo de servicio, que se da por la división entre la longitud del paquete y la tasa de servicio. El paquete es retenido hasta que se cumple el tiempo de servicio y es transmitido hacia el enrutador de núcleo. Una vez transmitido el paquete el contador, se actualiza restándole la longitud en bits del mismo. Si el contador que indica la ocupación de la cola sobrepasa el tamaño de la cola, los paquetes comenzarán a ser descartados sin importar el tipo de aplicación a la que pertenezcan.



**Figura 37.-** Diagrama de flujo para el mecanismo Leaky Bucket.

El siguiente capítulo muestra los resultados de los modelos simulados, en base a los parámetros que miden la calidad de servicio, como lo son retardo, variación de retardo y pérdida de paquetes, los cuales se comparan con los valores demandados por las fuentes de tráfico.

## **X. RESULTADOS Y ANÁLISIS NUMÉRICO.**

### **V.1 INTRODUCCIÓN.**

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos para los parámetros que miden la calidad de servicio sobre redes, como lo son el retardo extremo a extremo, la variación de retardo y la probabilidad de pérdida de paquetes, obtenidos durante la simulación de las tecnologías involucradas en los Servicios Diferenciados (DiffServ) implementado sobre la dorsal de Internet 2.

También se presenta un análisis comparativo entre los resultados obtenidos para estos mismos parámetros de calidad de servicio durante las simulaciones de los servicios de Mejor Esfuerzo (BE) y Servicios Integrados (IntServ), los cuales se derivan de una tesis desarrollada anteriormente en el departamento de Electrónica y Telecomunicaciones del CICESE [Héctor Cruz, 2001].

### **V.2 PARÁMETROS DE SIMULACIÓN.**

La obtención de los resultados finales se basó en el promedio obtenido de tres secuencias de simulación, cada una con semilla diferente. Cada secuencia de simulación estuvo constituida por 10 escenarios, cada uno con una duración de 30 segundos, tiempo suficiente para lograr que el sistema se estabilizara. Cada escenario posee una variación con respecto al tráfico inyectado a la red. Estas variaciones de tráfico se basaron en la tasa de generación de tráfico de una sola fuente para cada servicio, las cuales se muestran en la tabla IV.

En el capítulo III se mencionó que el protocolo de Servicios Diferenciados también maneja tráfico que no está marcado como DS y éste es tratado con el mecanismo de Mejor Esfuerzo (es atendido siempre y cuando haya disponibilidad de ancho de banda). Por tal motivo para fines de simulación se implementó una fuente de tráfico que sería tratada como Mejor Esfuerzo y la tasa de generación de esta fuente se dejó fija para todos los escenarios.

**Tabla IV.** Tasa de generación de tráfico para cada servicio.

SERVICIO	TASA DE GENERACIÓN DE TRÁFICO DE UNA SOLA FUENTE
Voz	60kbps
Video	1.5Mbps
FTP	75kbps
WWW	22kbps
SMTP	55kbps
BE	2Mbps

La tabla V muestra el tráfico generado por cada nodo. Los nodos de datos toman en cuenta un nodo para tráfico FTP, otro para WWW y uno más para SMTP, sólo que el tráfico otorgado a datos es repartido equitativamente entre los tres.

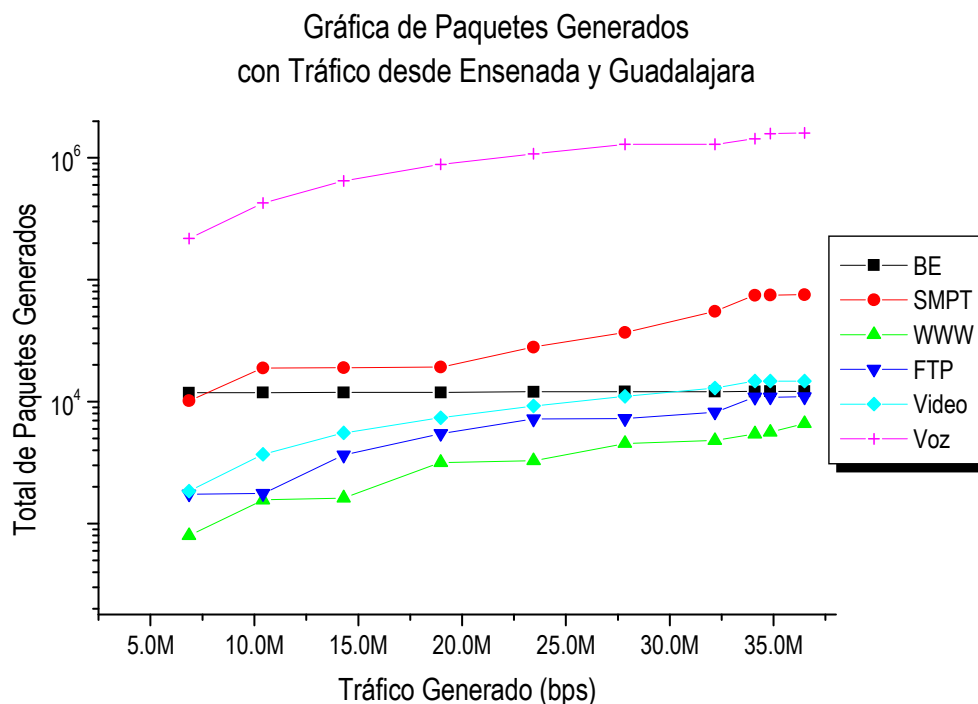
**Tabla V.** Condiciones de tráfico para cada escenario de simulación.

ESCENARIO	NODO VOZ (Mbps)	NODO VIDEO (Mbps)	NODOS DE DATOS (Mbps)	TRÁFICO GENERADO (Mbps)
1	1.5	1.5	1.5	4.5
2	3	3	3	9
3	4.5	4.5	4.5	13.5
4	6	6	6	18
5	7.5	7.5	7.5	22.5
6	9	9	9	27
7	10.5	10.5	10.5	31.5
8	10	12	12	34
9	10	12	13	35

10	10	12	14	36
----	----	----	----	----

Recordando la topología de la red de Internet 2 mostrada en el capítulo IV, tenemos que el tráfico agregado a la dorsal principal viene de dos nodos Asociados Académicos que son CICESE y UDG, por lo que se tienen dos nodos para cada tipo de servicio, de tal manera que el tráfico total inyectado a la red es el doble del que se muestra en la tabla V.

Para generar el tráfico expuesto en la tabla V por cada nodo, se fueron agregando fuentes de tráfico dependiendo el tipo de servicio. La cantidad de fuentes agregadas dependió de la tasa de generación, así que a menores tasas de generación se agregaban más fuentes para generar la misma cantidad de tráfico. Esto mismo ocurre con la cantidad de paquetes que circulan por la red para cada servicio. La figura 38 muestra la cantidad de paquetes generados por cada servicio, logrando observar que la cantidad total de paquetes generados por las fuentes de voz es mucho mayor que la de cualquier otro tipo de servicio, ya que para generar la misma cantidad de tráfico que los otros nodos, se requiere de un mayor número de paquetes, precisamente por el tamaño de estos con respecto a los tamaños de los paquetes de video, FTP, WWW y SMTP.



**Figura 38.** Total de paquetes generados por servicio.

Los paquetes SMTP le siguen en cantidad a los paquetes de voz y es también debido al tamaño de los mismo ya que como se mencionó en el apéndice A, este tráfico pertenece al correo electrónico y los paquetes no son mayores a los 5kbits, cosa contraria a los paquetes de transferencia de archivos FTP y los de WWW, que son de gran tamaño y de los cuales se tiene menor cantidad. También se puede observar que el tráfico BE se genera de manera constante a través de todos los escenarios de simulación. Esta observación es importante para el análisis futuro de los parámetros de calidad de servicio.

### **V.3 OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS SATISFATORIOS PARA EL SISTEMA DE SERVICIOS DIFERENCIADOS.**

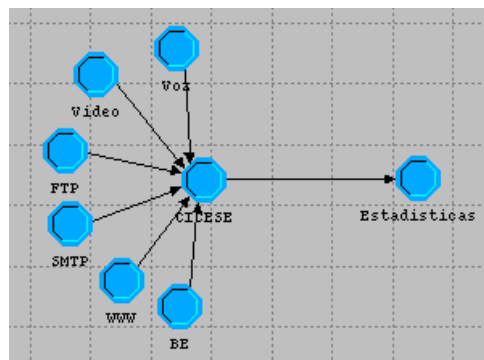
Como se recordará, en el capítulo III se explicaron detalladamente los tipos de mecanismos que se implementarían para conformar el sistema de Servicios Diferenciados, dentro de los cuales



tenemos el trTCM como mecanismo de medición y marcado, el WRED como mecanismo para el control de admisión, el PWFQ como mecanismo de calendarización y el Leaky Bucket como mecanismo de acondicionamiento de tráfico.

En la sección III.8 se resaltaron los parámetros de configuración para cada uno de estos mecanismos, los cuales en su mayoría dependen de las condiciones de generación de tráfico. Por ello, con la finalidad de obtener los parámetros óptimos para el buen desempeño del protocolo se hicieron pruebas sobre una pequeña red que contempla los nodos generadores de tráfico, un nodo de frontera definido por el nodo Asociado Académico CICESE y un nodo de captura de estadísticas. Los enlaces de las fuentes hacia el enrutador CICESE son de 100Mbps y el enlace que va de CICESE hacia el nodo de estadísticas es de 34Mbps, tal como se muestra en la figura 39.

El tráfico que inyecta cada fuente hacia el enrutador de frontera es de 8Mbps para voz, 8Mbps para video y 18Mbps para datos. Los 18Mbps destinado a los datos se dividieron en 6Mbps para FTP, 6Mbps para WWW y 6Mbps para SMTP.



**Figura 39.** Modelo de red para validación de Servicios Diferenciados.

Los parámetros de configuración del trTCM toman en cuenta las características del tráfico FTP, WWW y SMTP ya que a éstos se les tratará mediante el comportamiento AF. Estas fuentes, como se menciona en el apéndice A, no manejan un tamaño de paquete fijo, ya que se modelan

mediante funciones de densidad de probabilidad que decrecen muy lentamente (heavy tailed). Debido a esto, se hicieron pruebas donde se obtuvieron estadísticas sobre los tamaños de paquetes para cada fuente de tráfico, obteniendo que la longitud máxima en bits para paquetes FTP es de 500kbits, para paquetes WWW es de 200kbits y para paquetes SMTP es de 5kbits. En base a estos valores los parámetros de configuración del trTCM quedaron como los muestra la tabla VI.

A 4Mbps la fuente FTP perteneciente al servicio olímpico oro puede mandar 8 paquetes con un tamaño de ráfaga PBS, o bien 15 paquetes con un tamaño de ráfaga CBS. Por ello los parámetros del CIR y PIR quedaron conforme a la tasa de transmisión de la fuente. Este mismo análisis se hizo para los trTCM destinados al servicio plata y bronce ya que a una tasa de 6Mbps se asegura que los paquetes dentro del perfil de tráfico sean enviados.

**Tabla VI.** Parámetros de configuración para el trTCM.

trTCM	CBS (kbits)	PBS (kbits)	CIR (kbps)	PIR (kbps)
Oro	400	500	6000	6000
Plata	150	200	6000	6000
Bronce	4	5	6000	6000

El mecanismo WRED posee dos parámetros importantes que son el valor máximo y el valor mínimo de umbral. El valor mínimo de umbral debe ser lo suficientemente grande de tal manera que la utilidad del enlace sea máxima. En este caso nuestra tasa de llegada máxima es de 6Mbps por servicio, por lo que nuestro valor mínimo de umbral es de 6Mbits y el máximo será el doble. Debido a que nuestro tráfico llega dividido por el trTCM en tres flujos, se hace una asignación de probabilidad máxima de descarte por flujo.

La probabilidad máxima de descarte dependerá de la medición y marcación hecha por el trTCM, teniendo que la máxima probabilidad otorgada al flujo marcado con verde será de 0.1, ya que este es el que posee la mayor prioridad, para el flujo marcado con amarillo la probabilidad asignada es de 0.3 y para el tráfico que se encuentra fuera del perfil la probabilidad máxima de

descarte es de 0.5. Estos valores se proponen de acuerdo a las necesidades del cliente, o bien, de acuerdo a la administración del enlace.

Por último para el mecanismo PWFQ se tuvieron que hacer simulaciones variando el tiempo de ventana deslizante, ya que como se recordará este parámetro es el que decide qué tanto tráfico se deja salir hacia el acondicionador, y modificando este valor se puede controlar la pérdida de paquetes dependiendo de la prioridad que se le da a cada servicio. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla VII, donde podemos observar que para un tiempo de ventana de 5mseg se tiene una pérdida de paquetes SMTP del 19.5%, y esto se debe en principio a que es el flujo de tráfico que posee la mas baja prioridad.

Recordando la figura 38, donde se muestra una gráfica de generación de paquetes, podemos observar que el tráfico SMTP genera más paquetes que el tráfico FTP y WWW. Por lo tanto a 8Mbps, que es la tasa de generación de cada nodo, se generan 15 paquetes de tipo FTP, 40 paquetes del tipo WWW y 1500 paquetes del tipo SMTP por segundo aproximadamente (se tomaron los valores CBS de cada servicio para el cálculo). El número de paquetes de tipo SMTP que llegan dentro del intervalo de la ventana deslizante de 5mseg es de 8 paquetes y cada paquete tarda en ser atendido 1ms, por lo tanto solo se atienden 5 paquetes por cada intervalo de tiempo, quedando encolados 3, así que en el siguiente turno se sacaran nuevamente 5, pero ahora quedaran encolados 6 y así sucesivamente afectando el retardo y el desbordamiento de la cola.

**Tabla VII.** Resultados obtenidos en base a la variación de tiempo sobre la ventana deslizante.

Tráfico por nodo	Ventana Deslizante	Retardo (ms)		Variación de Retardo (ms)	PLR
6Mbps	5ms	<i>FTP</i>	0.026019	0.00379	0
		<i>WWW</i>	0.33769	0.003882	0
		<i>SMTP</i>	0.029117	0.249423	19.5%
6Mbps	1ms	<i>FTP</i>	0.24229	0.003544	0
		<i>WWW</i>	0.030929	0.003590	0

		<b>SMTP</b>	0.02591	0.000641	0
6Mbps	0.5ms	<b>FTP</b>	0.0241	0.03556	0
		<b>WWW</b>	0.030408	0.003566	0
		<b>SMTP</b>	0.025409	0.000629	0

Para la simulación con un tiempo de ventana de 1ms, tenemos que el número de paquetes que arriban es mucho menor, siendo de 2 paquetes SMTP, por lo tanto si el tiempo de servicio es de 1mseg por paquete, solo se quedaría encolado un paquete, por lo tanto las pérdidas son nulas al menos durante periodos de tiempo pequeños, pero en lapsos de tiempo mas grandes se presentarían pérdidas. Así mismo se afecta un poco el retardo en el paquete que se quedo encolado con respecto del que se envió y por consiguiente la variación del retardo. En el caso del tiempo de ventana de 0.5ms se tiene el arribo de un solo paquete SMTP, por lo tanto se estarían vaciando las colas de manera constante, evitando las pérdidas como se puede observar en los valores obtenidos para esta simulación en la tabla VII. También podemos observar la disminución en los valores obtenidos para el retardo y la variación del retardo. Por lo tanto el valor de ventana deslizante que se tomo para las simulaciones de la red completa fue de 0.5mseg, por otorgar los valores más bajos de retardo y de variación de retardo en cada servicio.

Es importante resaltar que los valores tomados para el tamaño de los paquetes de cada servicio, no es un valor constante debido al modelado de cada fuente, así que solo se tomaron los tamaños de paquetes máximos que cumplen con el perfil de tráfico.

Una vez obtenidos los parámetros óptimos para el buen desempeño del protocolo de Servicios Diferenciados, se procedió a hacer el análisis de los parámetros de calidad de servicio. Para ello se tomaron en cuenta los parámetros permitidos para el buen desempeño de cada servicio, estos parámetros se muestran en la tabla VIII.

**Tabla VIII.** Valores permitidos de los parámetros de calidad de servicio donde se garantiza el buen desempeño de los servicios.

SERVICIO	PROBABILIDAD DE PÉRDIDA	RETARDO	VARIACIÓN DEL	REFERENCIA
----------	-------------------------	---------	---------------	------------

	DE PAQUETES (PLR)		RETARDO	
Voz	$10^{-3}$	400mseg	20mseg	Race, 1994
Video	$10^{-6}$	400mseg	30mseg	Bong Ryu, 1998
Datos	$10^{-6}$	1400mseg	-----	Race, 1994

## V.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

### V.4.1 RETARDO EXTREMO A EXTREMO

En la figura 40 se muestra la gráfica obtenida para el retardo extremo a extremo de los servicios de voz, video, FTP, WWW, SMTP y tráfico no marcado como Servicios Diferenciados, al cual se le trata con el mecanismo de mejor esfuerzo.

En la gráfica se observa que el tráfico que posee menor retardo es el que pertenece al tráfico de voz, lo cual es de esperarse ya que es al que se le dio mayor prioridad. El tráfico que le sigue en menor retardo es el de SMTP, esto se debe a que la generación de paquetes es mayor en comparación con la cantidad de paquetes que generan los nodos de video, FTP ó WWW, por ello al llegar paquetes de tipo SMTP antes que los de video, estos son atendidos primero, y si en ese lapso de tiempo llegan paquetes de video, estos tiene que esperar hasta que el tiempo destinado a vaciar las colas de datos se cumpla y entonces si atender a los paquetes de video o de voz, dependiendo de la prioridad.

Gráfica de Retardo Extremo a Extremo con tráfico desde Ensenada y Guadalajara

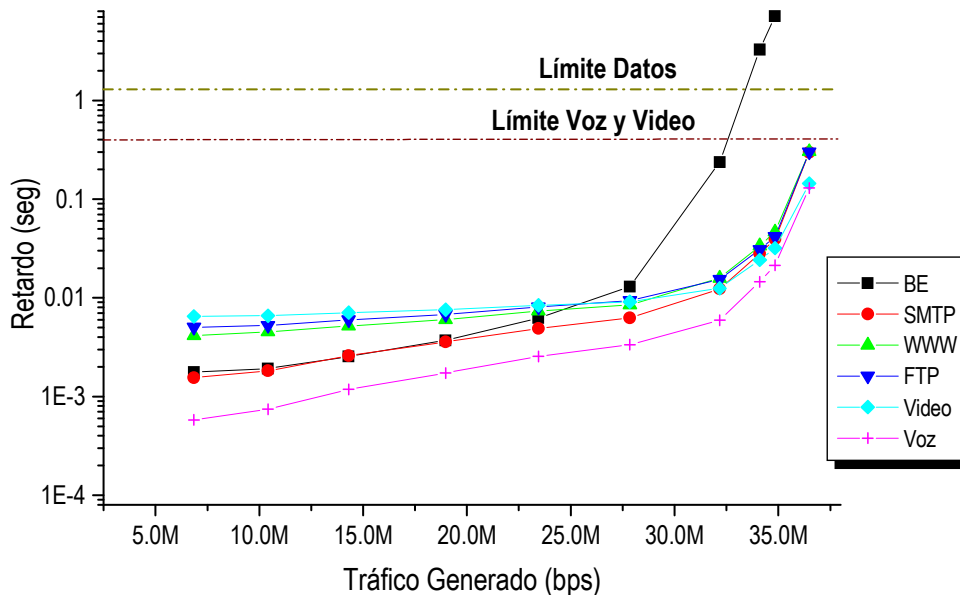


Figura 40. Retardo extremo a extremo para Servicios Diferenciados.

Para las primeras simulaciones donde el tráfico total generado es poco, el tráfico que se trata como mejor esfuerzo se envía en su totalidad; los valores de retardo para este servicio son menores que los que posee el tráfico de video, FTP y WWW, y casi los mismos del tráfico SMTP, pero una vez que se va incrementando el tráfico de dichos nodos, el retardo del tráfico de mejor esfuerzo sufre un incremento bastante notable excediendo los valores permitidos de retardo y llegando al punto en el cual este tráfico ya no puede ser transmitido.

Parte de este tráfico se pierde por el desbordamiento de las colas y otra parte se queda almacenada en las mismas, y este último será transmitido si existiera una oportunidad de envío.

Los valores de retardo para voz, video, FTP, WWW y SMTP se encuentran por debajo de los límites permitidos, con un tráfico total generado de hasta 36Mbps. Por lo tanto en cuanto a retardo se refiere, Servicios Diferenciados cumple con los niveles de Calidad de Servicio que estos servicios demandan para su buen desempeño.

#### V.4.2 VARIACIÓN DEL RETARDO.

En la figura 41 se muestra la gráfica obtenida para la variación de retardo de cada servicio. En ella se observa como la variación de retardo para el tráfico de voz y de video es menor en comparación con el tráfico SMTP, WWW y FTP.

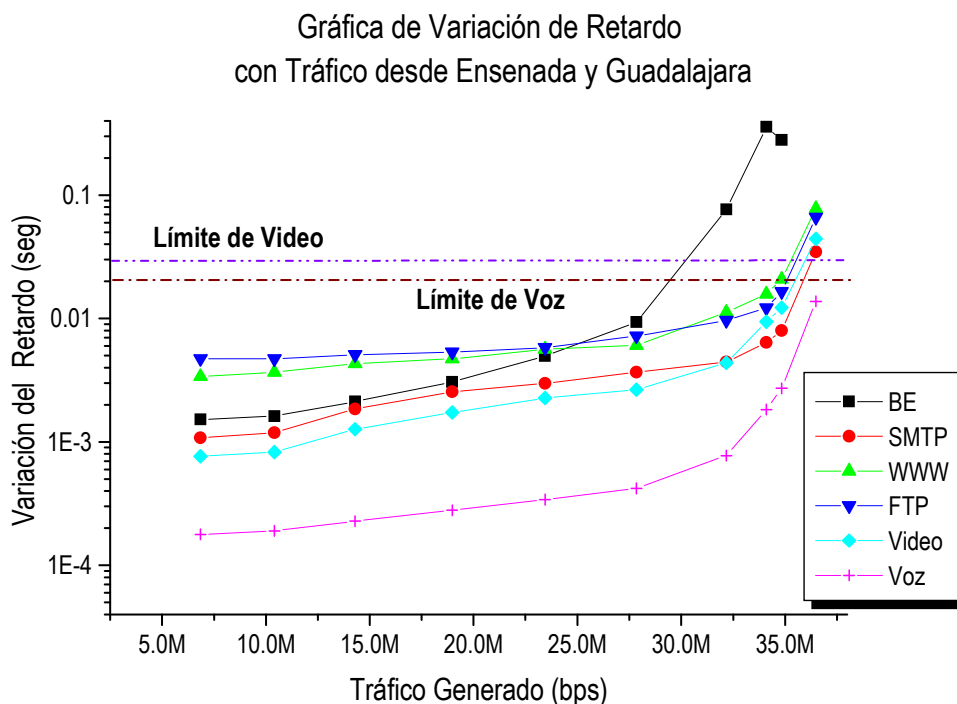


Figura 41. Variación de Retardo para Servicios Diferenciados.

Al igual que en los resultados obtenidos para el retardo del tráfico de mejor esfuerzo, la variación de retardo aumenta considerablemente una vez que el tráfico de los otros nodos aumenta y por lo tanto es mas difícil que este tráfico pueda ser enviado de una forma mas constante, incrementando la variabilidad del retardo entre un paquete y otro. También se puede observar que una vez alcanzados los 34Mbps, el tráfico de mejor esfuerzo rebasa los límites permitidos para voz y video y que a partir de los 35Mbps, el tráfico de mejor esfuerzo ya no es transmitido.

A partir de los 34Mbps, que es el ancho de banda disponible por el enlace de CICESE a Tijuana ó bien el enlace de UDG a Guadalajara, se observa un mayor incremento en la variación del retardo de los demás flujos de tráfico y esto se debe a que la utilidad del enlace esta en su máximo punto y nos es posible enviar mas de lo que el enlace puede soportar, ocasionando que el tráfico que va llegando sea almacenado y por lo tanto la variabilidad en cuanto a retardo de un paquete y otro aumente en consecuencia a esto. Por ello la variación en el retardo de video a los 36Mbps excede el límite permitido.

Hasta este momento se puede decir que este valor determina el punto hasta el cual se puede utilizar el enlace, garantizando que los parámetros que miden la Calidad de Servicio se encuentren por debajo de los valores permitidos para cada servicio. Ya que, como se puede observar en la figura 41, antes de los 36Mbps los valores de variación del retardo para los 5 servicios, caen por debajo de los límites permitidos. Por lo tanto se puede decir que hasta antes de los 36Mbps, en cuanto a variación de retardo, Servicios Diferenciados cumple con los niveles de Calidad de Servicio que estos servicios demandan para su buen desempeño.

#### **V.4.3 PROBABILIDAD DE PÉRDIDA DE PAQUETES.**

La figura 42 muestra la gráfica que representa los valores de probabilidad de pérdida de paquetes con respecto al tráfico generado y a los tipos de servicios. En ella se puede observar que el tráfico tratado mediante mejor esfuerzo presenta perdidas a partir de los 32Mbps, excediendo los límites permitidos.

La pérdida de paquetes de video se comienza a observar a partir de los 34Mbps, excediendo el límite permitido en los 34.2Mbps, aproximadamente. Para el servicio de voz, la pérdida de paquetes se observa a partir de los 34.8Mbps, al igual que para el servicio de datos, que encierra al tráfico FTP, WWW y SMTP. El límite de la probabilidad de pérdida de paquetes para el servicio de voz se excede a partir de los 36Mbps y para los datos, se excede a partir de los 35Mbps.



Gráfica de Probabilidad de Pérdida de Paquetes con Tráfico desde Ensenada y Guadalajara

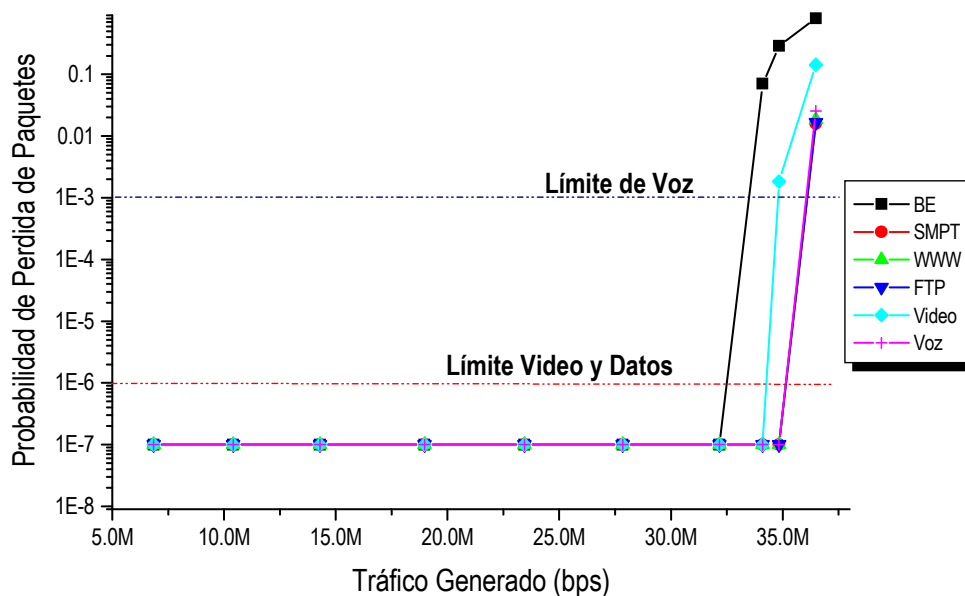


Figura 42. Probabilidad de Pérdida de Paquetes para Servicios Diferenciados.

En base a estos valores y a los obtenidos para el retardo y la variación del retardo, se concluye que los valores que determinan la probabilidad de pérdida de paquetes son los que define el punto máximo sobre el uso del enlace, el cual debe ser hasta los 34Mbps, ya que hasta este valor de tráfico generado se garantizan que los parámetros que miden la calidad de servicio (retardo, variación de retardo y probabilidad de pérdida de paquetes) se encuentren por debajo de los límites permitidos para cada tipo de servicio.

Sin embargo hay que tener en cuenta que en cualquier topología de red, siempre se tendrá la presencia de tráfico que deba ser tratado mediante mejor esfuerzo. Por tal motivo el límite sobre el uso del enlace para tráfico DiffServ se puede bajar un poco, con la finalidad de dar oportunidad a que el tráfico tratado con mejor esfuerzo, pueda ser transmitido. En este caso se recomienda un límite de 32Mbps

#### V.4.4 CAUDAL EFICAZ.

La figura 43 muestra el comportamiento del caudal eficaz con respecto a la utilización del enlace, esta gráfica presenta un comportamiento lineal, lo cual se debe a que de la ecuación 2, se observa que el caudal eficaz involucra el parámetro de probabilidad de pérdida de paquetes (PLR), por lo tanto, es de esperarse que el caudal eficaz para Servicios Diferenciados se comporte de forma lineal hasta un 100%, ya que como se observó en la figura 42, las pérdidas de paquetes se presentan después de los 34Mbps, lo cual es de esperarse ya que es la capacidad del enlace.

Con respecto a este resultado, se puede decir que mediante el uso de Servicios Diferenciados como protocolo para la implementación de redes con calidad de servicio, se garantiza la utilización del enlace a un 100%. Así mismo, este resultado indica que todos los paquetes enviados desde los nodos generadores llegarán a su destino, siempre y cuando no se exceda la capacidad del enlace.

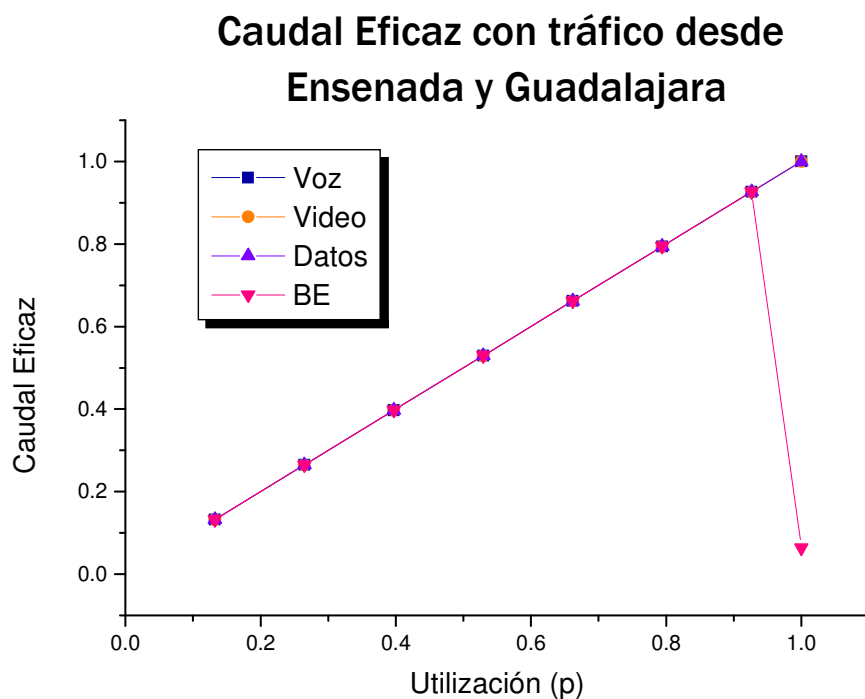


Figura 43. Caudal Eficaz para Servicios Diferenciados.

## V.5 COMPARACIÓN ENTRE MEJOR ESFUERZO, INTSERV Y DIFFSERV.

Una vez analizados los resultados sobre el comportamiento de los parámetros de Calidad de Servicio para Servicios Diferenciados, se realiza una comparación contra los resultados obtenidos de la implementación de Mejor Esfuerzo y Servicios Integrados sobre la misma red, para cada tipo de servicio.

### V.5.1 Voz

#### V.5.1.1 Retardo Extremo a Extremo.

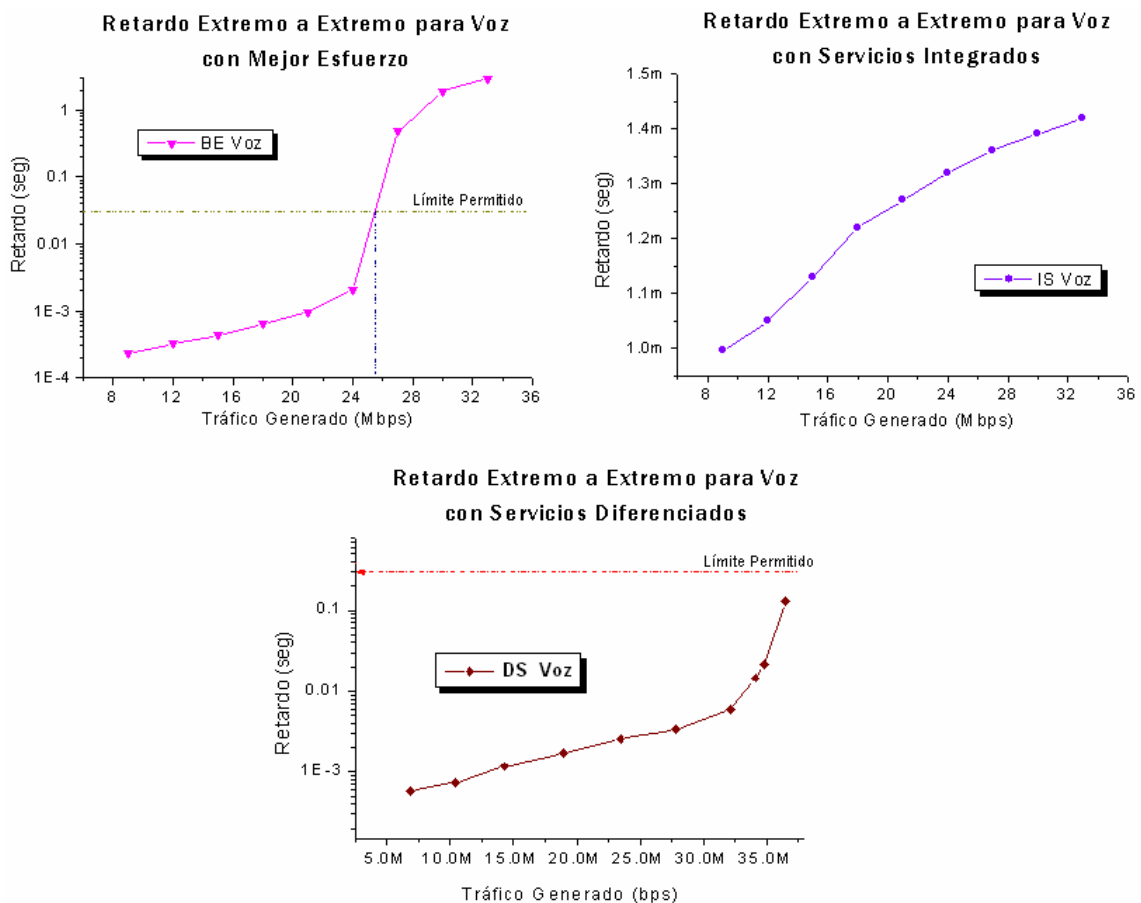


Figura 44. Comparación entre Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados en base al retardo extremo a extremo para voz.

La figura 44 muestra el comportamiento de retardo extremo a extremo para el servicio de voz, en base a los tres protocolos, Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados. En esta figura se puede observar que tanto Servicios Integrados como Servicios Diferenciados mejoran las prestaciones ofrecidas por el protocolo de Mejor Esfuerzo, lo cual es de esperarse ya que ambos protocolos implementan en su arquitectura mecanismos que garantizan una repartición sobre los recursos de la red en base a las necesidades que demanden los servicio.

Sin embargo se observa que Mejor Esfuerzo presenta valores más bajos de retardo que IntServ y DiffServ, hasta antes de los 24Mbps, esto se debe a que los enrutadores de IntServ y DiffServ requieren de un tiempo de procesamiento mayor que los de Mejor esfuerzo, debido a los mecanismos implementados en cada uno de ellos.

Comparando los valores obtenidos de retardo para IntServ y DiffServ, observamos que DiffServ presenta valores mayores de retardo con respecto a los de IntServ, y esto se debe a que Servicios Diferenciados maneja mas tipos de servicios que Servicios Integrados, por lo tanto al inyectar mas tráfico, el tiempo de espera incrementa para algunos paquetes voz con respecto de otros. Sin embargo este parámetro para ambos protocolos se mantiene por debajo del límite permitido para voz.

#### *V.5.1.2 Variación de Retardo.*

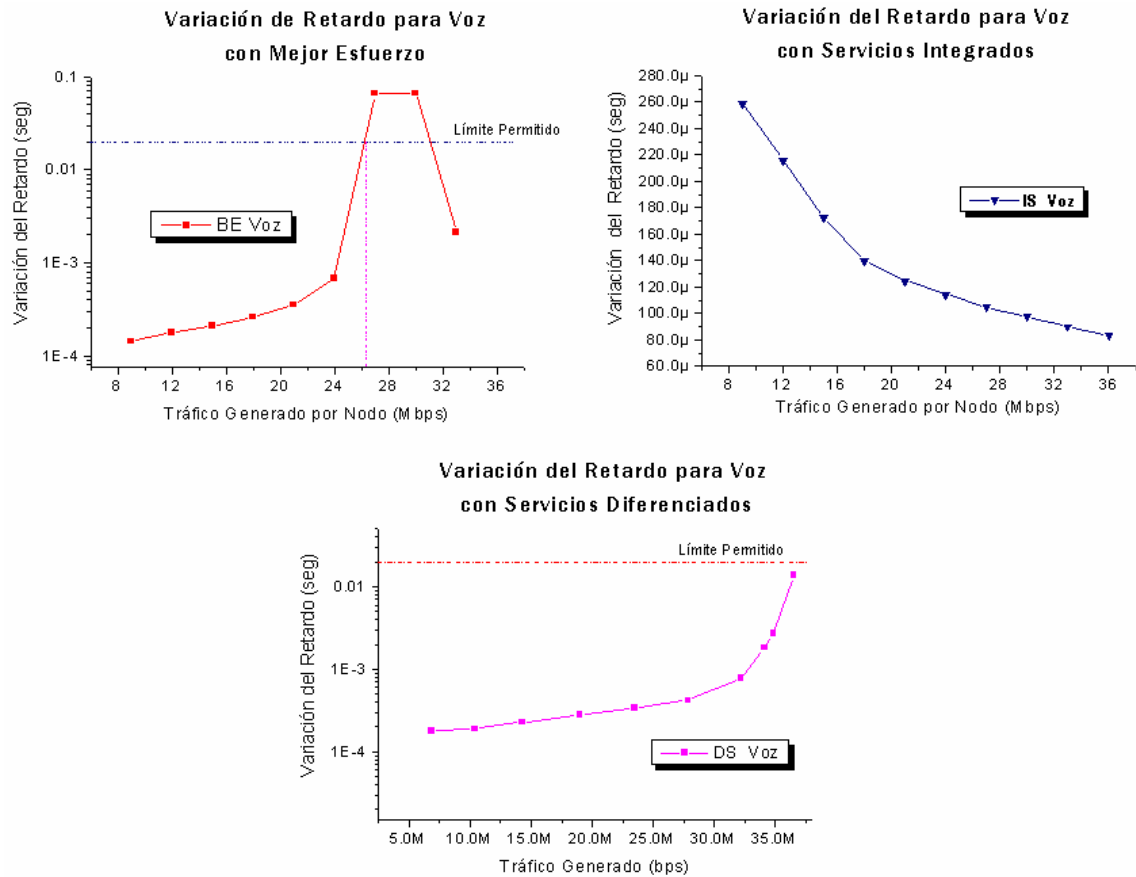
La figura 45 muestra el comportamiento de variación de retardo para el servicio de voz, en base a los tres protocolos, Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados. Se observa que tanto Servicios Integrados como Servicios Diferenciados mejoran las prestaciones ofrecidas por el protocolo de Mejor Esfuerzo.

En estas gráficas es interesante observar el comportamiento que posee Servicios Integrados con respecto al de Mejor Esfuerzo y al de Servicios Diferenciados, el cual se debe, a que el tiempo de generación entre un paquete y otro, va decrecentando conforme se va incrementando la tasa

de generación de paquetes, lo que ayuda a disminuir la variación de retardo conforme se tiene mas tráfico.

Los valores obtenidos para Mejor Esfuerzo hasta antes de los 24Mbps son menores que los obtenidos para Servicios Diferenciados, una vez excedido este valor, Mejor Esfuerzo presenta un incremento en la variación del retardo hasta exceder el límite permitido por esta aplicación. Sin embargo Servicios Diferenciados mantiene los niveles bajos de variación de retardo hasta los 34Mbps, excedido este punto los valores de variación de retardo aumenta considerablemente, sin embargo hasta los 36Mbps este parámetro se mantiene por debajo del límite permitido.

El aumento en la variación de retardo en Servicios Diferenciados se debe a que maneja más tipos de servicios que Servicios Integrados, por ello, aunque la tasa de generación por nodo aumente, es menos probable que paquetes que pertenecen a la misma aplicación se encuentren más seguidos uno del otro.

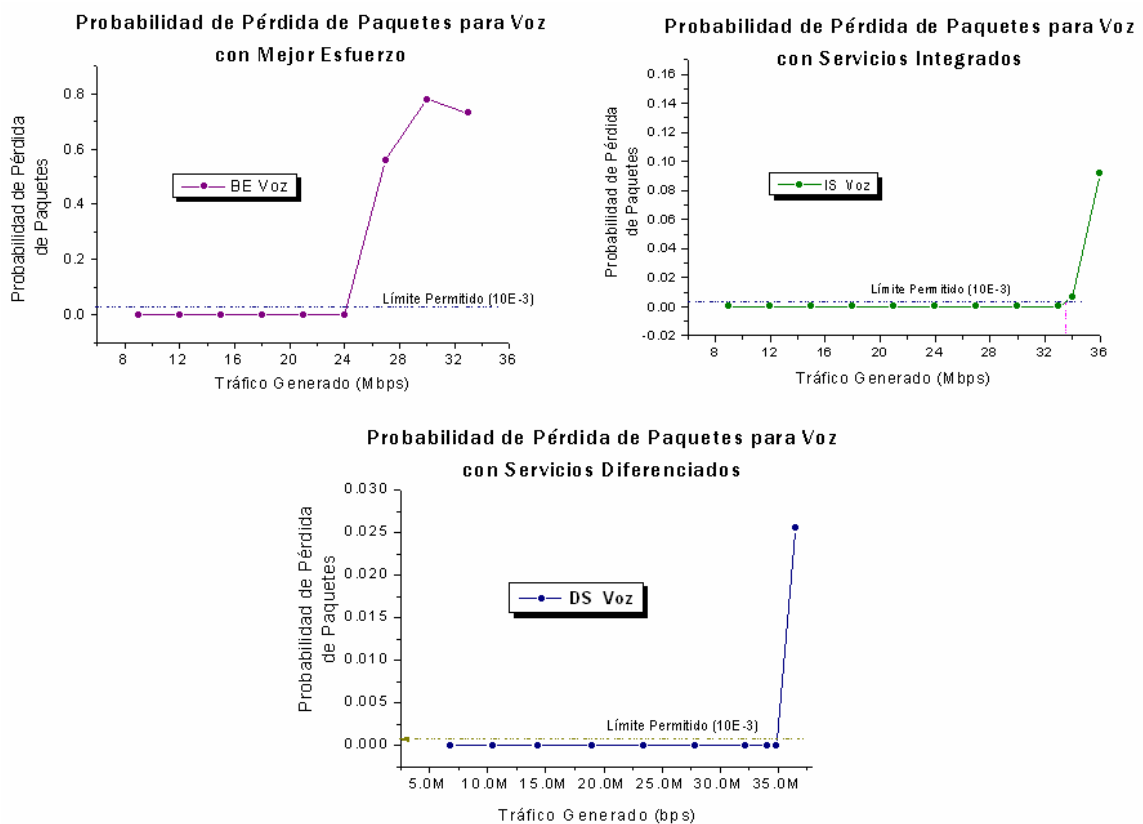


**Figura 45.** Comparación entre Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados en base a la variación del retardo para voz.

*V.5.1.3 Probabilidad de Pérdida de Paquetes.*

La figura 46 muestra la probabilidad de pérdida de paquetes de voz con respecto del tráfico generado, para los tres protocolos, Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados. Se observa que Mejor Esfuerzo presenta pérdidas a partir de los 24Mbps, excediendo casi de inmediato el límite permitido.

Servicios Integrados presenta pérdidas de paquetes de voz a partir de los 33Mbps, excediendo el límite permitido a los 34.5Mbps y Servicios Diferenciados sufre pérdidas de paquetes de voz, a partir de los 35Mbps, excediendo el límite permitido a los 36Mbps. Esto último se debe a que en la implementación de Servicios Diferenciados, se le dio mayor prioridad al tráfico de voz, cosa contrario a Servicios Integrados, ya que este protocolo se le otorgo mayor prioridad al tráfico de video.

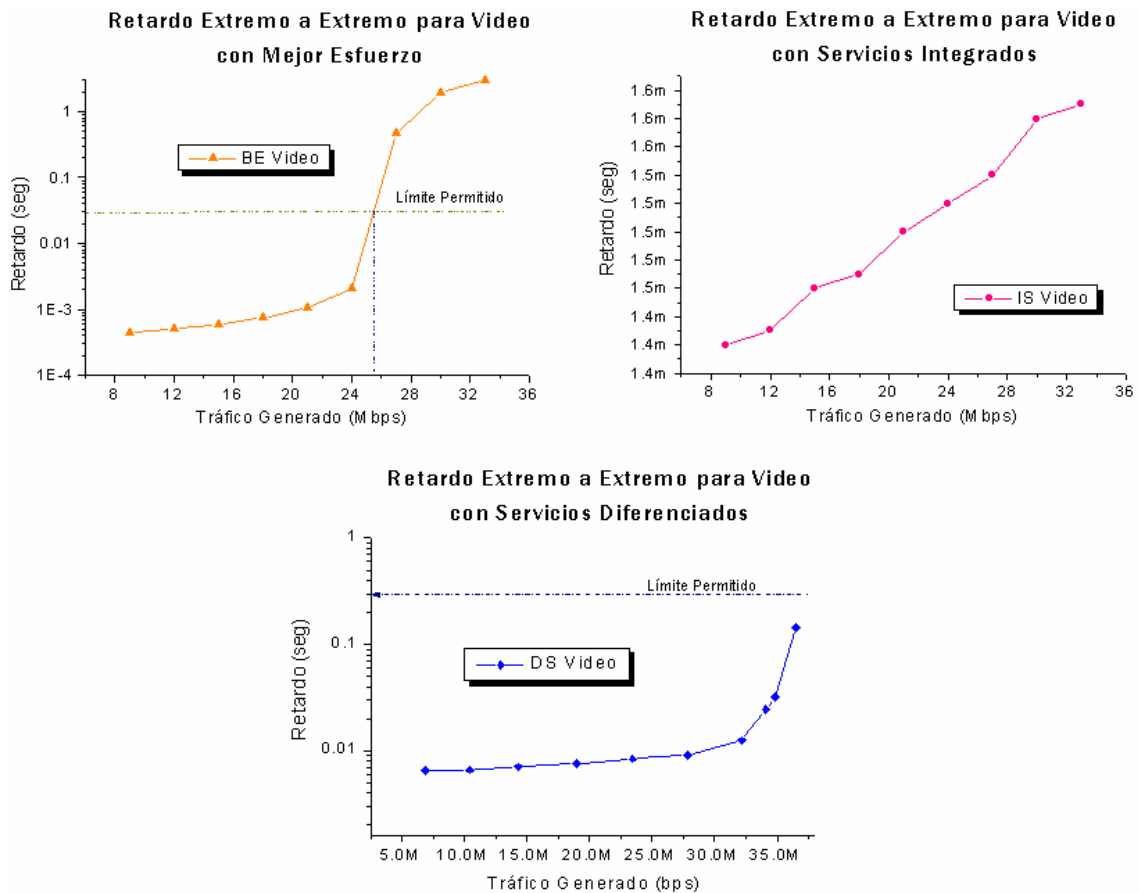


**Figura 46.** Comparación entre Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados en base a la probabilidad de pérdida de paquetes para voz.

## V.5.2 VIDEO

### V.5.2.1 Retardo Extremo a Extremo.

En la figura 47 se presentan las gráficas del comportamiento de retardo extremo a extremo para el servicio de video, usando Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados. En esta figura se puede observar que tanto Servicios Integrados como Servicios Diferenciados mejoran las prestaciones ofrecidas por el protocolo de Mejor Esfuerzo, sin embargo Mejor Esfuerzo presenta valores más pequeños de retardo hasta antes de los 24Mbps, una vez excedido este valor el retardo incrementa hasta exceder el límite permitido.



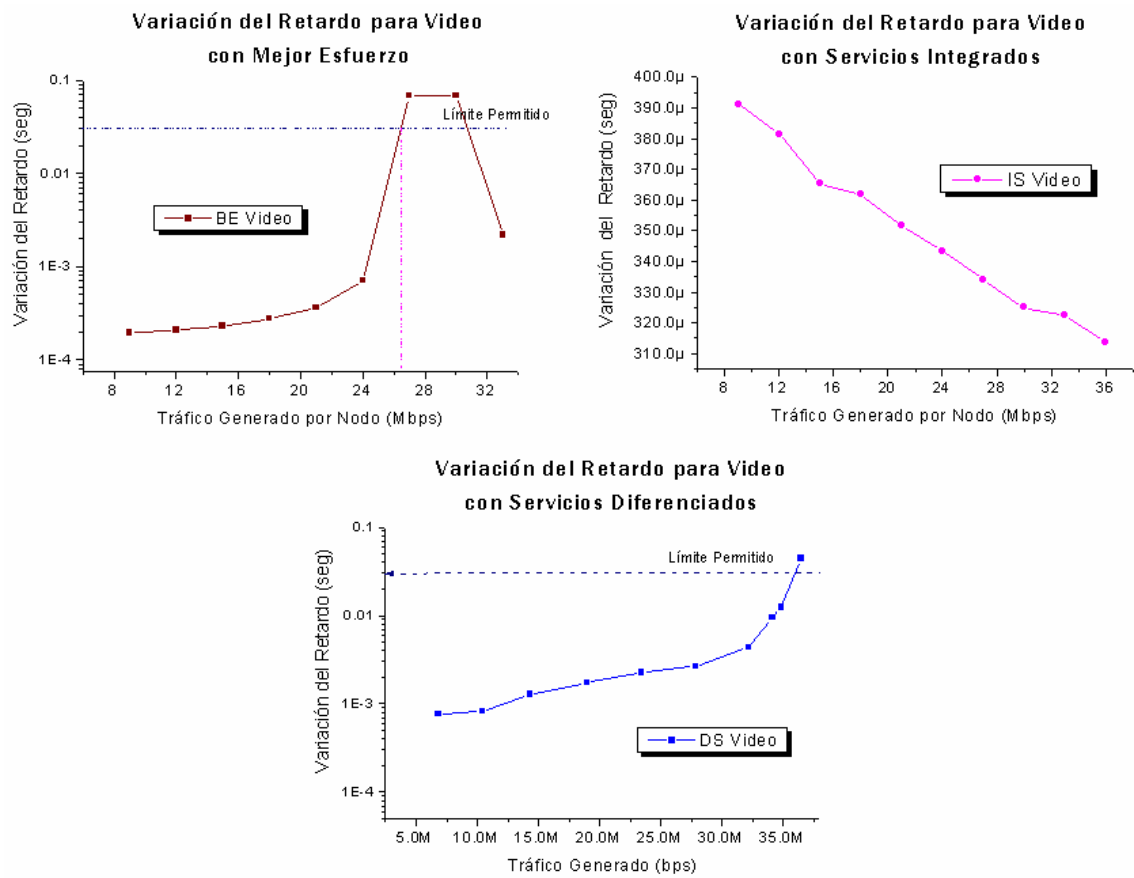
**Figura 47.** Comparación entre Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados en base al retardo extremo a extremo para video.

Comparando los valores obtenidos de retardo de video usando IntServ y DiffServ, observamos que Servicios Integrados presenta valores más bajos de retardo en comparación con Servicios Diferenciados y esto se debe a que el nivel de prioridad que se le asignó a este servicio en ambos protocolos fue diferente, además de que Servicios Diferenciados maneja mas tipos de servicios, lo cual lo implica un menor uso sobre el ancho de banda para cada servicio, en comparación al ancho de banda asignado en Servicios Integrados para cada servicio o aplicación.

Sin embargo ambos protocolos presentan niveles de retardo por abajo del límite permitido para video, con lo que se asegura de este modo el cumplimiento de Calidad de Servicio sobre este parámetro.

*V.5.2.2 Variación de Retardo.*





**Figura 48.** Comparación entre Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados en base a la variación del retardo para video.

La figura 48 muestra la comparación de Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados con respecto a la variación de retardo para el servicio de video. La variación del retardo para video usando Servicios Integrados presenta el mismo comportamiento que la variación de retardo para el servicio de voz y la explicación a esto, es por el mismo motivo que se da el comportamiento de variación de retardo para el servicio de voz.

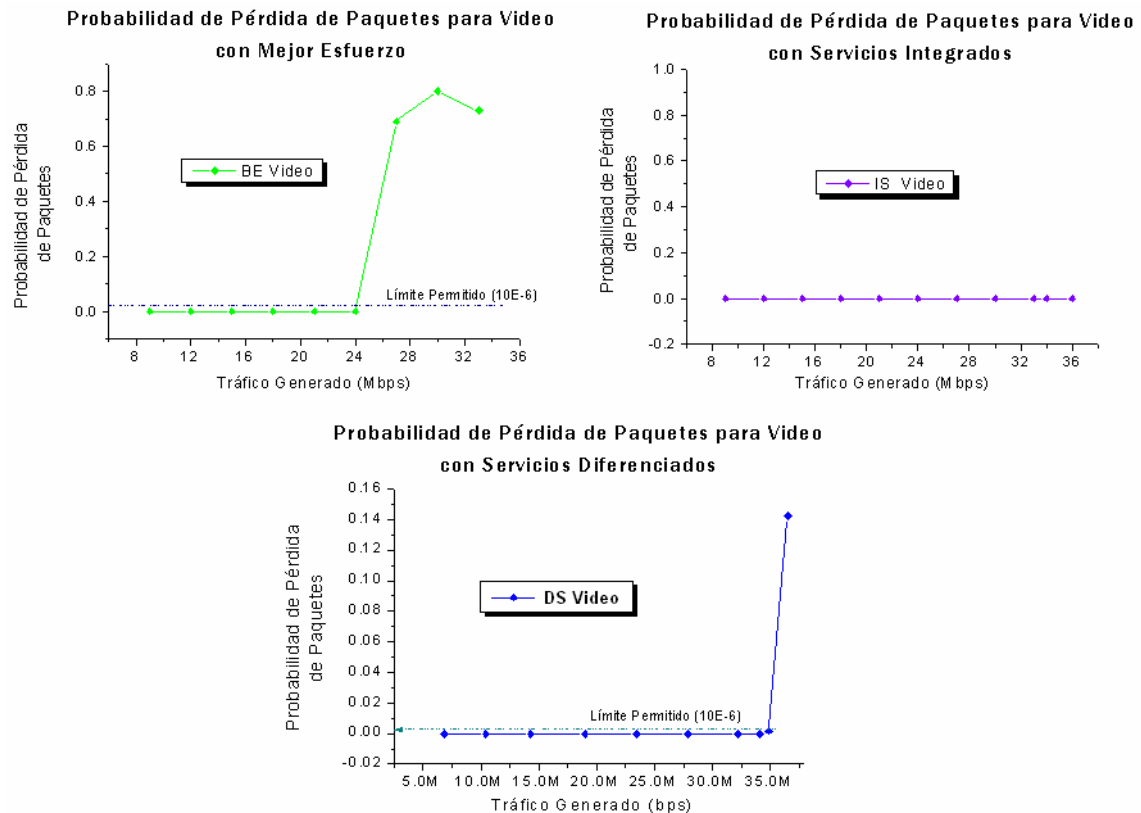
Servicios Diferenciados mejora las prestaciones ofrecidas por Mejor Esfuerzo, aunque este último presenta valores mas bajos de variación de retardo hasta antes de los 24Mbps, después de este valor excede el límite permitido.

En la gráfica de Servicios Diferenciados se observa que la variación del retardo se mantiene por abajo del límite permitido hasta los 35Mbps, una vez superado este valor, se observa un incremento mucho mayor sobre la variación de retardo hasta exceder el límite permitido. Por lo tanto se puede decir que DiffServ garantiza valores de variación del retardo de video por abajo del límite permitido hasta los 35Mbps.

#### *V.5.2.3 Probabilidad de Pérdida de Paquetes.*

La figura 49 presenta las graficas de Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados en base al parámetro de probabilidad de pérdida de paquetes para el servicio de video. Se observa que Mejor Esfuerzo presenta pérdidas a partir de los 24Mbps, excediendo casi de inmediato el límite permitido.

Comparando IntServ y DiffServ, podemos notar que las simulaciones para IntServ no presentan pérdidas de paquetes para este servicio hasta los 39Mbps y esto se puede atribuir a la prioridad que se le asignó a este servicio en la implementación de este protocolo. En contraste, DiffServ presenta pérdidas de paquetes de video a partir de los 34Mbps, excediendo el límite permitido a los 34.2Mbps. Por lo tanto podemos decir que ambos garantizan el buen desempeño del servicio hasta los 34Mbps, mejorando de este modo las prestaciones ofrecidas por el protocolo de Mejor Esfuerzo.



**Figura 49.** Comparación entre Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados en base a la probabilidad de pérdida de paquetes para video.

### V.5.3 DATOS

#### V.5.3.1 Retardo Extremo a Extremo.

En la figura 50 se aprecian las gráficas sobre el comportamiento de retardo extremo a extremo para el servicio de datos, usando Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados.

Las simulaciones para Servicios Diferenciados toman en cuenta tres tipos de datos, por ello se presentan los tres comportamientos en una sola gráfica. Se observa que tanto IntServ como DiffServ mejoran las prestaciones ofrecidas por el protocolo de Mejor Esfuerzo, aunque este último presenta valores de retardo menores antes de los 24Mbps, una vez excedido este valor el retardo incrementa notablemente.

Los valores obtenidos para este parámetro por medio de DiffServ son mayores en comparación de los obtenidos mediante IntServ, lo cual se atribuye a que los datos en Servicios Diferenciados pasan por etapas de medición, marcación, control de admisión, calendarización y finalmente por el acondicionamiento de tráfico, lo que incrementa el tiempo de procesamiento, por ello dicho parámetro presenta un mayor retardo para datos mediante el uso de Servicios Diferenciados.

Sin embargo, los valores de retardo para IntServ y DiffServ se encuentran por debajo del límite permitido, por lo tanto ambos protocolos cumplen con los requerimientos de Calidad de Servicio que este servicio demanda.

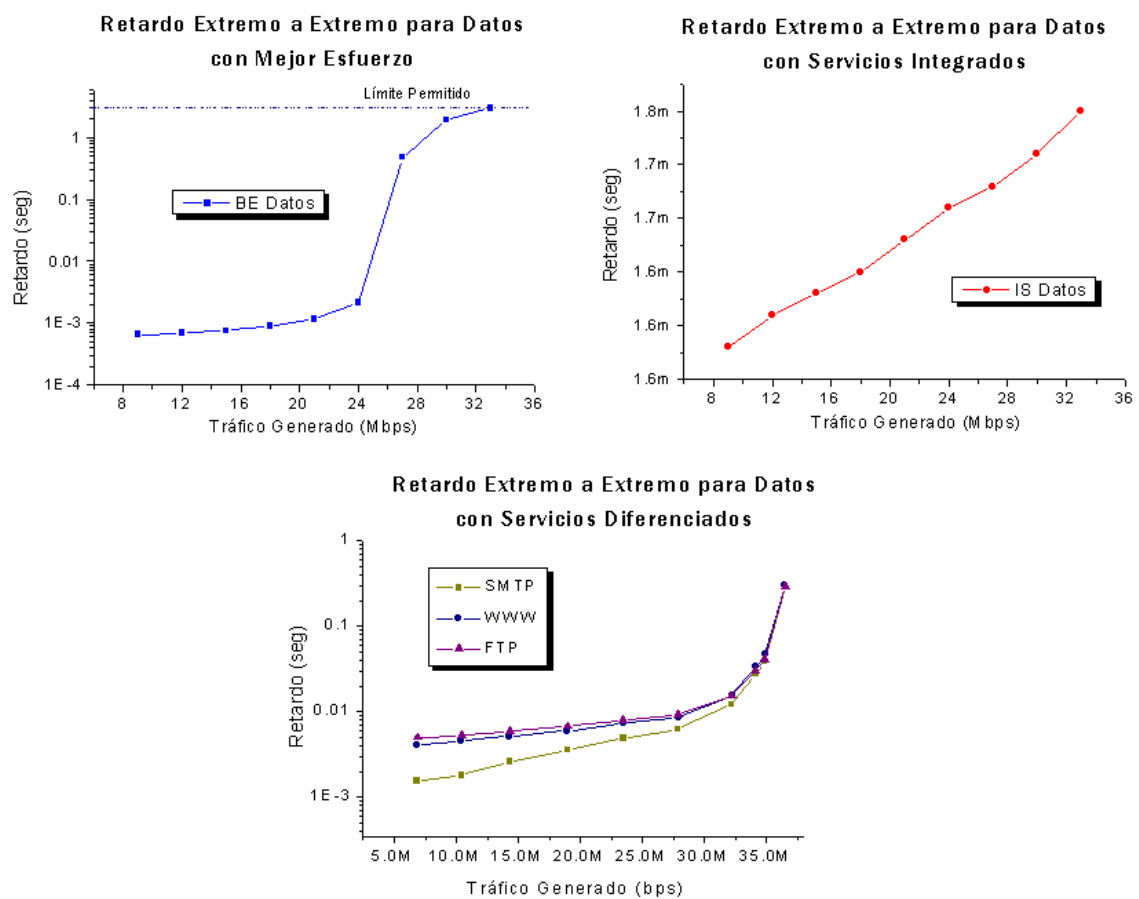
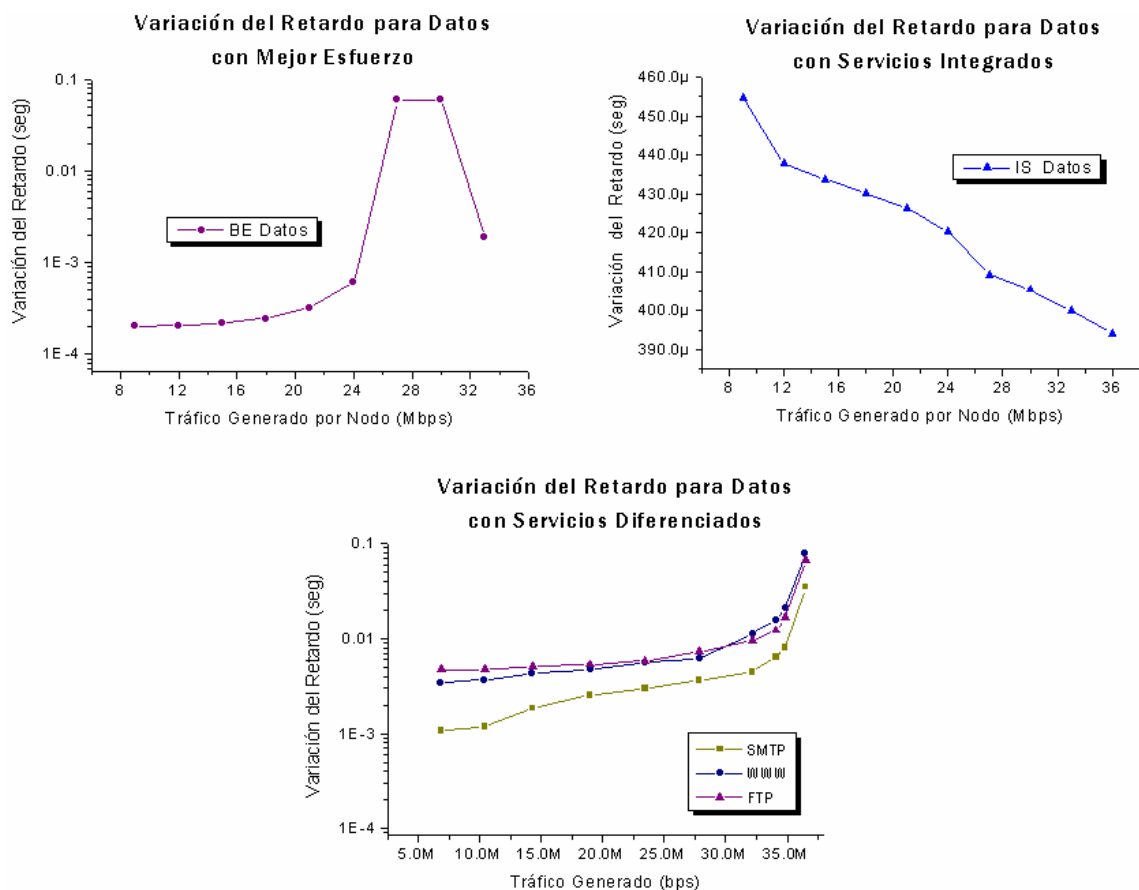


Figura 50. Comparación entre Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados en base al retardo extremo a extremo para datos.

### V.5.3.2 Variación del Retardo.

La figura 51 muestra la comparación de Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados con respecto a la variación de retardo para el servicio de datos. La variación del retardo para datos usando Servicios Integrados presenta el mismo comportamiento sobre la variación de retardo que los servicios de voz y de video, la explicación al igual que para video y voz se basa en el incremento del tráfico generado, lo que hace que el tiempo de generación entre un paquete y otro sea cada vez mas pequeño.



**Figura 51.** Comparación entre Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados en base a la variación del retardo para datos.

Servicios Diferenciados mejora las prestaciones ofrecidas por Mejor Esfuerzo, aunque este último presenta valores mas bajos de variación de retardo hasta antes de los 24Mbps, después de este valor la variación de retardo incrementa notablemente manteniéndose en 100ms y para los 33Mbps, la variación del retardo es menor que la obtenida mediante DiffServ en este punto. Esto se debe a que a partir de los 24Mbps, Mejor Esfuerzo presenta niveles de congestionamiento, por lo que comienza a descartar paquetes, provocando que el nivel de congestionamiento baje y así mismo la variación del retardo.

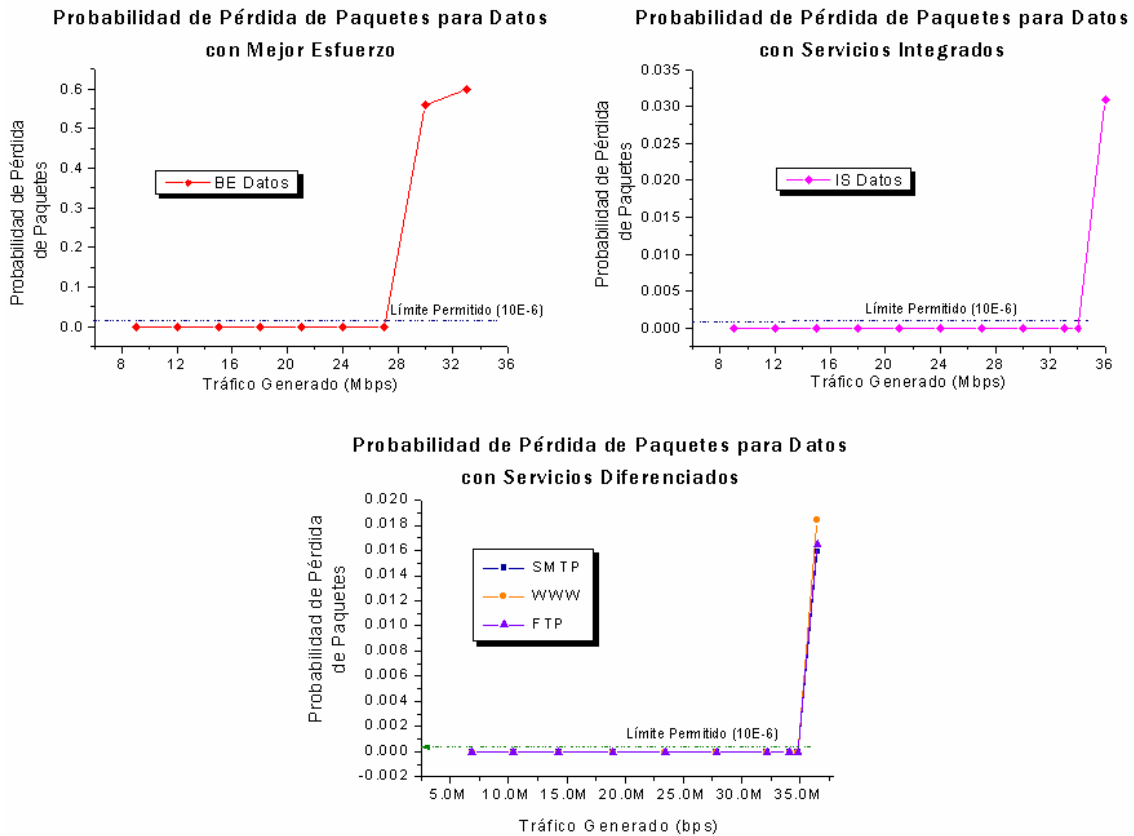
A diferencia de Mejor Esfuerzo, Servicios Diferenciados incrementa el valor de la variación del retardo pero no sufre perdidas de paquetes, hasta antes de los 35Mbps, por lo tanto Servicios Diferenciado supera las prestaciones de Mejor Esfuerzo, otorgando niveles de Calidad de Servicio hasta los 35Mbps, al igual que Servicios Integrados.

#### *V.5.3.3 Probabilidad de Pérdida de Paquetes.*

En la figura 52 se pueden observar las gráficas de Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados en base al parámetro de probabilidad de pérdida de paquetes para el servicio de datos. Mejor Esfuerzo presenta perdidas a partir de los 27Mbps, excediendo casi de inmediato el límite permitido para esta aplicación.

Comparando IntServ y DiffServ, podemos notar que IntServ presentan pérdidas de paquetes de datos a partir de los 36Mbps, excediendo el límite permitido para el buen desempeño de esta aplicación. En contraste DiffServ presenta pérdidas de paquetes de datos a partir de los 35Mbps, excediendo casi de inmediato el límite permitido.

Por lo tanto, IntServ y DiffServ mejoran las prestaciones de Mejor Esfuerzo en base a este parámetro, pero además solo aseguran el cumplimiento sobre los niveles de Calidad de Servicio hasta los 35Mbps para Servicios Diferenciados y los 36Mbps para Servicios Integrados de tráfico inyectado.



**Figura 52.** Comparación entre Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados en base a la probabilidad de pérdida de paquetes para datos.

En base al análisis de resultados realizado sobre los parámetros de QoS (retardo, variación de retardo y probabilidad de pérdida de paquetes), para los servicios de voz, video y datos, mediante el uso de los protocolos Mejor Esfuerzo, Servicios Integrados y Servicios Diferenciados, se puede decir que el parámetro PLR (probabilidad de pérdida de paquetes), es el que va a determinar el punto máximo, hasta el cual se puede utilizar el enlace que va de CICESE a Tijuana o bien el enlace que va de UDG a Guadalajara, el cual es de 34Mbps, con la finalidad de asegurar el cumplimiento de Calidad de Servicio sobre las aplicaciones en curso.

Concluyendo de este modo que tanto Servicios Integrados, como Servicios Diferenciados mantienen la calidad de servicio hasta los 34Mbps de tráfico inyectado a la red, por cada nodo Asociado Académico. A diferencia de Mejor Esfuerzo que a pesar de ofrecer valores más bajos

sobre los parámetros de calidad de servicio, este presenta niveles de congestión sobre la red y es en este punto donde los protocolos de Servicios Integrados y Servicios Diferenciados presentan mejores resultados, lo que da paso para proponerlos como una alternativa para garantizar niveles de Calidad de Servicio en Internet.

En el siguiente capítulo se presentan las conclusiones obtenidas de la realización de este tema de investigación, así como algunas propuestas sobre trabajos futuros que se pudieran derivar del mismo. También se presentan algunas aportaciones que puede traer consigo los resultados obtenidos y algunas recomendaciones basadas en las experiencias vividas durante el desarrollo de la tesis.



# XI. CONCLUSIONES.

## VI.1 CONCLUSIONES.

El avance tecnológico en los sistemas de telecomunicaciones, ha creado el uso de nuevas aplicaciones sobre Internet, las cuales demandan una mayor reservación de recursos para su buen desempeño, lo que lleva al nacimiento de nuevos protocolos que garanticen el uso adecuado de dichos recursos. Por ello, la idea principal del desarrollo de este tema de tesis se centra en el estudio de un protocolo que ayude a garantizar la entrega adecuada de dichas aplicaciones.

Este protocolo es un estándar propuesto por la IETF llamado Servicios Diferenciados. Por tal motivo el objetivo principal se centró en la implementación de mecanismos que constituyan el protocolo de Servicios Diferenciados, los cuales ayuden a mantener los niveles de retardo, variación de retardo y probabilidad de pérdida de paquetes dentro de los límites permitidos, para aplicaciones que constituyan el tráfico de una red. Y a su vez demostrar que este protocolo mejora las prestaciones ofrecidas por el mecanismo de Mejor Esfuerzo, lo cual se cumplió satisfactoriamente.

Durante la realización de la tesis, se estudiaron los principales parámetros que definen la calidad de servicio, que son retardo, variación del retardo y probabilidad de pérdida de paquetes. Estos parámetros fueron medidos para cinco tipos de aplicaciones que son: voz, video, transferencia de archivos FTP, buscadores WWW y correo electrónico SMTP. Para cada aplicación se realizó un estudio y modelado de sus características, ya que estas determinan la selección de los parámetros óptimos de los distintos mecanismos que constituyen la arquitectura de Servicios Diferenciados.

Así que como primer paso se analizaron teóricamente los posibles mecanismos que se podían implementar sobre la arquitectura de Servicios Diferenciados, una vez escogidos y simulados los mecanismos, se obtuvieron y analizaron los resultados, los cuales se mantuvieron dentro de los límites permitidos para todas las aplicaciones. Los límites de probabilidad de pérdida de paquetes

para video y datos fueron rebasados como era de esperarse, una vez que se excedió la capacidad del enlace que va del nodo Asociado Académico CICESE al GigaPop Tijuana o bien del nodo Asociado Académico UDG al GigaPop Guadalajara, que fue a partir de los 34Mbps.

Lo que nos lleva a concluir que se puede tener una utilidad del enlace dentro del 100% y los parámetros de calidad de servicio se cumplen, pero una vez excedida la capacidad del enlace, las aplicaciones empiezan a sufrir pérdidas, y en este punto ya no se garantiza ninguna calidad de servicio.

Estos resultados fueron comparados con los resultados obtenidos de un tesis anterior a esta, donde se median los parámetros de calidad de servicio para aplicaciones de voz, video y datos, sobre la misma red, pero con la implementación de dos protocolos diferentes, uno es el de Mejor Esfuerzo y otro el de Servicios Integrados. Esta idea de comparación se realizó con la finalidad de evaluar las ventajas y desventajas que presentan dichos modelos.

Los resultados arrojados por el protocolo de Mejor Esfuerzo solo garantizan la entrega adecuada de las aplicaciones, cuando se tiene un tráfico de 24Mbps se puede observar que presenta mejores resultados en cuanto a retardo y variación de retardo en comparación a los obtenidos de los protocolos de Servicios Integrados y Servicios Diferenciados, pero una vez excedido este nivel, se presenta congestión y por ende, el desbordamiento de las colas, lo que ocasiona pérdidas y el incremento en los niveles de retardo y variación de retardo, hasta llegar a un punto en que los límites permitidos son rebasados.

Por el contrario, tanto Servicios Integrados como Servicios Diferenciados garantizan la entrega de las aplicaciones con calidad de servicio hasta los 34Mbps, una vez excedido este nivel se presentan pérdidas para algunas aplicaciones. Para Servicios Integrados las pérdidas de voz se presentan a partir de los 33Mbps, pero aun dentro de los límites permitidos, estas rebasan el nivel permitido a partir de los 34.5Mbps. Por el lado de Servicios Diferenciados, este presenta pérdidas de paquetes de video a partir de los 34Mbps y rebasa el límite permitido a los 34.2Mbps.

Otro aspecto importante que se observó en los resultados obtenidos para Servicios Integrados y Servicios Diferenciados, es la diferencia de los valores de retardo y variación de retardo, que

ambos protocolos presentan, observando que Servicios Integrados presenta niveles más bajos de retardo y variación de retardo para las aplicaciones de voz, video y datos en comparación con los obtenidos por el protocolo de Servicios Diferenciados, lo que nos lleva a concluir que esto se debe al condicionamiento de tráfico que se lleva a cabo sobre las fronteras del dominio DiffServ, el cual implica procesos de clasificación, medición, marcación, control de admisión, calendarización y acondicionamiento de tráfico; por lo tanto el tiempo de procesamiento es mayor, comparado con el tiempo de procesamiento de un enrutador de Servicios Integrados, el cual solo incluye procesos de clasificación y calendarización.

Este condicionamiento de tráfico sobre las fronteras del dominio DiffServ representa ventajas y desventajas a la vez, desventajas por el retardo que adiciona al tratamiento del tráfico y ventaja ya que una vez que se hace el condicionamiento sobre las fronteras, los enrutadores de núcleo solo realizan una reclasificación y calendarización, enviando el tráfico ya tratado y conformado por el enrutador de frontera, haciendo que la implementación de estos sea mucho mas sencilla. A diferencia de DiffServ, la arquitectura de Servicios Integrados tiene que ser implementada en cada nodo perteneciente a dicho dominio.

Por ello podemos decir que el modelo de Servicios Diferenciados representa grandes ventajas en la implementación de redes de cobertura amplia, ya que no requiere de la reservación previa de los recursos, debido a que DiffServ hace la diferenciación de los tipos de servicio solo en los ingresos de tráfico a la red y en base a esto trata el tráfico conforme a las características establecidas en dichos enrutadores.

Por el contrario Servicios Integrados tiene la ventaja de asegurar al 100% la entrega efectiva del tráfico, ya que primero realiza una reservación de recursos antes de enviar el tráfico, y una vez realizada la reservación, el retardo y la variación del retardo presentan valores muy pequeños. Sin embargo esto también representa una desventaja al incrementar el número de flujos, ya que la reservación se hace por flujos, no por tipos de servicio, lo que ocasionaría que al ir incrementando el número de usuarios, el protocolo de reservación se hace mucho mas complejo, ya que requiere mas recursos de procesamiento y de memoria, además de que el uso de dicho protocolo introduce carga extra a la red, que no representa datos de usuario. Por ello Servicios Integrados es

recomendado para su implementación sobre redes de cobertura pequeña, donde los flujos de tráfico sean pocos y se pueda llevar un buen control de estos.

Es importante mencionar que para obtener resultados satisfactorios en la implementación del protocolo de Servicios Diferenciados es necesario tener muy en cuenta las características del tráfico, así como realizar una correcta diferenciación de los tipos de servicios que este protocolo pueda manejar en base a los recursos que cada uno de ellos demanden, para poder otorgarles el tratamiento adecuado a lo largo de toda la red.

Finalmente podemos concluir que tanto Servicio Integrados como Servicios Diferenciados representan una alternativa viable para la implementación de redes con calidad de servicio, cuando se tienen niveles de congestión sobre los enlace de salida y cuando se tienen diferentes aplicaciones sobre una misma red, las cuales requieren ser tratadas de diferente manera y que además demandan diferentes niveles sobre el uso de los recursos de la red.

## **VI.2 APORTACIONES.**

En esta tesis se estudio un tema de actualidad, el cual todavía se encuentra muy abierto para el nacimiento de nuevos protocolos o estándares en el mercado, por tal motivo, este trabajo de investigación aporta un nuevo algoritmo que al mismo tiempo de otorgar ciertos niveles de calidad de servicio, sigue la arquitectura establecida por el estándar de la IETF para la implementación de Servicios Diferenciados.

Otra aportación importante, se basa en la implementación de DiffServ en la dorsal de la red Internet 2 México para fines de simulación, por lo que representa una base de referencia con la cual el proyecto CUDI puede evaluar al mecanismo de Servicios Diferenciados como una alternativa para otorgar niveles de calidad de servicio a los usuarios de dicha red.

## **VI.3 RECOMENDACIONES.**

Una de las herramientas mas importantes para el estudio de cualquier nueva investigación son las simulaciones, por ello es muy importante que el estudiante tenga los conocimientos

necesarios sobre este tipo de herramienta, así como de los posibles paquetes de simulación de los cuales pueda hacer uso.

Es importante tener en cuenta que existe una amplia variedad de paquetes con los cuales el estudiante puede valerse para fines de simulación. Por tal motivo se recomienda que al menos los paquetes de simulación de los cuales dispone el CICESE sean bien conocidos por el estudiante, para que al elegir tema de tesis, ya se tenga una idea más amplia de los posibles problemas o posibles ventajas que enfrentará al hacer uso de algún paquete de simulación en especial.

Recomendando de este modo incluir seminarios de simulación para estudiantes que estén interesados en el uso de algún software de simulación que posea el CICESE. Trayendo como consecuencia un tiempo mas amplio reservado al estudio y análisis del tema de investigación, que al estudio del paquete de simulación.

#### **VI.4 TRABAJOS FUTUROS.**

- Hacer un estudio sobre nuevos mecanismo con los cuales se pueda implementar la arquitectura de Servicios Diferenciados, con la finalidad de reducir los valores obtenidos de retardo y variación de retardo en esta investigación.

- Estudiar y analizar mecanismos de capa 2 (tal como MPLS) como otra alternativa de implementación de QoS sobre redes, y hacer una comparación con los protocolos estudiados hasta el momento (de capa 3), para así poder presentar las ventajas y desventajas de usar mecanismos en dos distintas capas del modelo OSI.

# BIBLIOGRAFÍA

## LIBROS

Uyless Black. 2000. "QoS in Wide Area Networks". Prentice Hall. Primera Edición. New Jersey. 343pp.

Paul Fergunson y Geoff Huston. 1998. "Quality of Service". John Wiley & Sond, Inc. Segunda Edición. New York. 365pp.

Wang Z. 2001. "Architectures and Mechanisms for Quality of Service". Bell Labs, Lucent Technology. Primera Edición. 345pp.

## ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

Villy B. Iversen. 2001. "Teletraffic Engineering Handbook".

Paul Barford and Mark Crovella. 1998. "Generating Representative Web Workloads for Network and Server Performance Evaluation". Computer Science Department. Boston University: 29-40pp.

Y. Bernet, S. Blake, D. Grossman y A. Smith. 2001. "An informal Management Model for DiffServ Routers". Internet-Draft: 1-55pp.

S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang y W. Weiss. 1998. "RFC 2475: An Architecture for Differentiated Services". Internet Engineering Task Force: 1-32pp.

Anna Chamy, Bruce Davie, Fred Baker, Jean-Yves, William Courtney, Victor Firoiu y K. K. Ramakrishnam. 2001. "RFC2598: An Expedited Forwarding PHB". Internet Engineering Task Force: 1-15p.

## BIBLIOGRAFÍA (CONTINUACIÓN)

Bogdan Costinescu, Razvan U., Madalin S., Emilian M., Radu P., Mugur A. y Costel I. 2001. "ITU-T G.729 Implementation on StarCore SC140". Motorola: 1-42pp.

Mark E. Crovella y Azaer Bestavros. 1996. "Self-Similar in Word Wide Web Traffic Evidence and Possible Causes", Sigmetrics Philadelphia: 1-10pp.

Richard Forberg y Tim Hale. 2001. "Internet Protocol Quality of Service (IP QoS)". Quarry Technologies, Inc.: 1-15pp.

J. Heinanen y R. Guerin. 1999. "RFC2698: A Two Rate Three Color Marker". Internet Engineering Task Force: 1-4pp.

Markus Isomaki. 1998. "Differentiated Service for Internet". Department of Technical Physics and Mathematics. Helsinki University of Technology: 1-16pp.

K. Nichols, S. Blake, F. Braker y D. Black. 1998. "RFC2474: Definition of Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers". Internet Engineering Task Force: 1-20pp.

Vern Paxson. 1993. "Empirically-Derived Analytic Models of Wide-Area TCP Connections: Extended Report". University of California, Berkeley :1-34pp.

Vern Paxson y Sally Floyd. 1995. "Wide-area Traffic: The Failure of Poisson Modeling". IEEE/ACM Transactions on Networking, 3(3): 226-244pp.

Braden R., Clark D. Y, y Shenker F. 1994. "RFC 1633: Integrated Service in the Internet Architecture: an Overview". Internet Engineering Task Force: 1-33p.

Race, Specification D.732. 1994. "Service Aspects".

## **BIBLIOGRAFÍA (CONTINUACIÓN)**

Race, Specification D.511. 1994. "Parameters of Videoconferencing".

Bong K. Ryu. 1998. "The importance of long-range dependence of VBR video traffic in ATM traffic engineering: Myths and Realities". Department of Electrical Engineering and Center for Telecommunications Research. Columbia University New York: 1-23p.

Song Wang, Yu-Chung Wang and Kwei-Jay Lin. 1998. "A Priority-Based Weighted Fair Queuing Scheduler for Real-Time Network". IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 16(5): 664-658pp.

Walter Weiss. 1998. "QoS with Differentiated Services". Bell Labs Technical Journal: 48-62pp.



# APÉNDICE A. MODELOS DE TRÁFICO.

## A.1 INTRODUCCIÓN

Dentro de cualquier simulación de comunicaciones, ya sea inalámbricas o terrestres, es importante tener en cuenta el modelado del tráfico, ya que en base a éste es como se puede medir el buen desempeño de una red en particular.

La red de Internet2 maneja tráfico de datos, de voz y de video. Dentro del tráfico de datos, podemos encontrar diferentes aplicaciones como lo es la transferencia de archivos FTP, buscadores de red WWW, telnet, SMTP, entre otros.

Servicios Diferenciados tiene la ventaja de poder hacer una diferenciación de todos estos tipos de tráfico, otorgándoles un tratamiento especial dependiendo de las restricciones que éstos tengan para su buen desempeño sobre la red, además de los requerimientos acordados en el SLA entre el cliente y el servidor. Por ello para la implementación de DiffServ sobre la dorsal de Internet2, se tomaron en cuenta 5 fuentes de tráfico, que son: voz, video, FTP, WWW y SMTP.

## A.2 MODELO PARA FUENTE DE VOZ.

En una conversación telefónica las personas no hablan continuamente, sino que en promedio una persona habla de un 35% a un 40% del tiempo de duración de la llamada. Por tal motivo el modelo para la fuente de voz se realizó mediante una fuente ON-OFF, el cual es comúnmente usado para modelar datos en ráfaga.

La ITU-T (International Telecommunication Union, Telecommunication Standardization Sector) establece un grupo de protocolos llamado H.323 para las comunicaciones multimedia. Este grupo de protocolos establece las normas y dispositivos usados para voz sobre IP, así como para video sobre IP. En base a los dispositivos que se establecen en este protocolo se escogió el vocoder G.729 CS-ACELP para el modelo de la fuente de voz, ya que las técnicas de compresión descritas

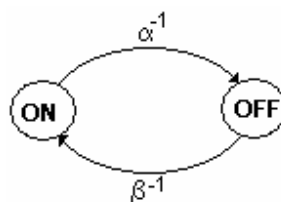
en la ITU-T G.729 son altamente recomendadas para emplearlas en sistemas de transmisión de voz debido a la calidad que posee la señal de voz reconstruida.

El vocoder G.729 CS-ACELP opera a 8kbps usando un código algebraico de predicción lineal. Este codificador procesa tramas cada 10mseg más 5mseg para el análisis de predicción lineal, de este modo se tiene un retardo global de 15mseg. La señal de voz analógica pasa a través de un filtro pasa bajas de 300Hz a 3400Hz y es muestreada a 8kHz para producir datos digitales, los cuales son convertidos a una señal de voz lineal PCM de 16bits. La salida del codificador de voz otorga 5 palabras de 16bits cada 15mseg [Bogdan Costinescu et all, 2001].

### Modelo ON-OFF para voz

Una fuente ON-OFF alterna entre dos estados ON y OFF, manteniéndose en cada estado un tiempo determinado. Los parámetros para modelar una fuente ON-OFF se basan en una distribución de los periodos ON y OFF, así como en los tiempos de Inter-salida e Inter-arribo.

Matemáticamente el modelo ON-OFF se representa por una cadena de Markov de tiempo continuo de dos estados. El tiempo de duración de los estados ON y OFF es exponencialmente distribuido con media  $\alpha^{-1}$  y  $\beta^{-1}$  respectivamente. Por lo tanto  $\alpha^{-1}$  representa el tiempo promedio que la fuente se mantendrá en estado ON y  $\beta^{-1}$  representa el tiempo promedio que la fuente se mantendrá en el estado OFF (figura 53). Las ecuaciones 4 y 5 modelan estos tiempos



**Figura 53.** Diagrama de transición de estados para el modelo ON-OFF.

$$F_{\alpha}(t) = 1 - e^{-\alpha t} \quad \text{Estado ON}$$

(4)

$$F_{\beta}(t) = 1 - e^{-\beta t} \quad \text{Estado OFF}$$

(5)

F(t) representa la distribución acumulativa en ambos estados y además modela el proceso para las ráfagas de voz de una fuente. Los valores típicos empleados son [Villy B. Iversen, 2001]:

$$\alpha^{-1} \approx 352\text{ms}$$

$$\beta^{-1} \approx 650\text{ms}$$

### **A.3 MODELO PARA FUENTE DE VIDEO.**

El modelado de la fuente de video se realizó en base a las especificaciones del estándar H.323 para videoconferencia. Este estándar maneja dos tipos de codificadores de video, que son el H.263 y el H.261. El codificador de video H.263 es ampliamente usado para tasas menores a los 64kbps y el codificador H.261 es usado para tasas por arriba de los 64kbps.

H.263 soporta cinco tipos de resoluciones, QCIF es la que posee mayor resolución ya que las tramas manejan una secuencia de bloques de 176X144 pixeles (176 para información de luminancia y 144 para información de cromancia). Por lo tanto este tipo de resolución fue la elegida para fines del modelado de la fuente de video [Especificaciones de la ITU-T].

La tasa de transmisión para este tipo de resolución será entonces de 30 tramas por segundo. Por lo tanto se generan una trama de 50Kbits cada 33.33mseg.

El modelo de una fuente de video, también se hace mediante el modelo de una fuente ON-OFF.

### **A.4 MODELO PARA FUENTE DE DATOS.**

El tráfico de ingreso a una determinada red es frecuentemente modelado mediante procesos de Poisson por simplicidad de análisis. Sin embargo, numerosos estudios sobre el análisis del

tráfico en redes de cobertura amplia y redes de área local han demostrado que el íter arribo de paquetes no es exponencialmente distribuido [Vern Paxson y Sally Floyd, 1995].

Se ha observado que las características de las fuentes de datos presentan propiedades de dependencia de amplio rango por lo que se deben modelar en forma distinta a los modelos anteriores en donde la principal característica es que el sistema está caracterizado por una distribución exponencial la cual no presenta dependencia de amplio rango.

### FRACTALES Y AUTO-SIMILITUD

El fenómeno de auto-similitud representa procesos que muestra similitudes estructurales a través de amplias escalas de rango en una dimensión específica. En otras palabras, la estructura de referencia se repite sobre un amplio rango de escalas de diversas dimensiones (geométrica, estadística o temporal). Sin embargo, estas propiedades no se mantienen indefinidamente para un fenómeno real y, en algún punto esta estructura se desmorona.

La auto-similitud es asociada con fractales, los cuales son objetos que repiten un mismo patrón sobre diferentes escalas del tiempo. El concepto de fractal incluye el sentido geométrico, estadístico y dinámico. En el caso de fractales estadísticos es la densidad de probabilidad la que se repite sobre todas las escalas.

El tráfico muestra propiedades similares a la de los fractales cuando varias estadísticas estimadas, como lo son la función de auto correlación, el índice de dispersión, la densidad de potencia espectral, etc., exhiben un comportamiento de leyes de potencia sobre un amplio rango de escalas de tiempo y frecuencia. Este comportamiento posee un decaimiento hiperbólico mucho más lento que el decaimiento exponencial. El parámetro que determina la velocidad de decaimiento sobre una serie es conocido como el parámetro de Hurst (H), el cual representa la auto-similitud para una serie de tiempo.

Un proceso estocástico de tiempo continuo  $X(t)$  es considerado auto-similar estadístico con un parámetro de Hurst entre  $0.5 < H < 1.0$ .

La dependencia de amplio rango refleja la persistencia del fenómeno en un proceso auto-similar y éste se define principalmente en términos del comportamiento de la función de autocovarianza. Un proceso  $X$  se dice que posee dependencia de amplio rango si la función de autocovarianza no es sumable (la suma es infinita).

### DISTRIBUCIONES HEAVY-TAILED

Una variable aleatoria  $X$  se dice que es heavy-tailed si la función de distribución acumulativa complementaria (CCDF) decae como las leyes de potencias :  $\Pr\{X \geq x\} \approx x^{-\alpha}$ .

Cuando  $x \rightarrow \infty$  y para algún  $\alpha > 0$ . Para  $0 < \alpha < 1$  todos los momentos de  $X$  son infinitos y generalmente el  $n$ -ésimo momento es infinito para  $n \geq \alpha$ . La distribución más simple de tipo heavy-tailed es la distribución de Pareto, la cual es hiperbólica.

La naturaleza de muchas trazas de tráfico describe comportamientos de una distribución tipo heavy-tailed [Mark E. Crovella y Azer Bestavros, 1996].

### DISTRIBUCIÓN DE PARETO

La distribución de Pareto es una curva de potencia con dos parámetros, llamados parámetro de forma  $\alpha$  y parámetro de corte inferior  $\beta$  (el mínimo valor de la variable aleatoria). La función de distribución acumulativa (CDF) esta dada por la siguiente ecuación:

$$F(x) = 1 - \left(\frac{\beta}{x}\right)^\alpha$$

(6)

Y la función densidad de probabilidad (pdf) por:

$$f(x) = \left(\frac{\alpha}{\beta}\right) \left(\frac{\beta}{x}\right)^\alpha$$

(7)

Para  $x > \beta$  y  $\alpha > 0$ . De lo contrario, para  $x < \beta$ ,  $f(x) = F(x) = 0$

- Para  $\alpha \leq 1$  la distribución tiene media infinita
- Para  $1 \leq \alpha \leq 2$  la distribución tiene media finita y varianza infinita
- Para  $\alpha \leq 2$  la distribución tiene varianza infinita

La distribución de Pareto se ha aplicado en muchas áreas de investigación, pero la que nos importa aquí es el área de teletráfico.

#### DISTRIBUCIÓN LONG-NORMAL

Esta distribución es conocida también como *sub-exponencial*, ya que junto con las distribuciones de Pareto y Weibull, decrecen más lento que la distribución exponencial. Las tres distribuciones Pareto, Weibull y Log-normal son distribuciones definidas como heavy-tailed.

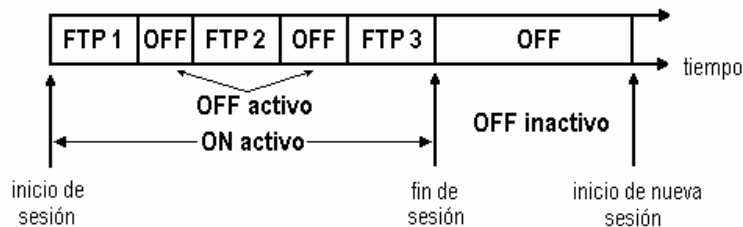
#### **A.4.1 MODELO PARA FUENTE DE FTP.**

El proceso de Poisson es válido para el modelado de arribo de conexiones FTP o TELNET por usuarios. La importancia de modelar los interarribos que ocurren dentro de una conexión FTP, se debe a que este tipo de tráfico posee una carga mas pesada en bytes dentro de las redes de cobertura amplia.

Las conexiones FTP se encuentran formadas por conjuntos de datos en ráfaga y la distribución para los tamaños de ráfaga dadas en bytes es del tipo heavy-tailed, encontrando que la distribución que mas se ajusta al comportamiento del tráfico FTP es la de Pareto con un parámetro de forma que puede estar entre  $0.9 \leq \alpha \leq 1.4$  para la distribución del tamaño de los paquetes y  $\alpha = 0.95$  para el tiempo de espera entre la llegada de un paquete y otro.

El tráfico auto-similar puede ser bien modelado multiplexando un gran número de fuentes del tipo ON-OFF, donde la duración de los periodos ON u OFF son del tipo heavy-tailed [Mark E. Crovella y Azer Bestavros, 1996]. En la figura 54 se observa el modelo para fuentes FTP programado en OPNET, donde podemos observar que éste se encuentra conformado por dos fenómenos del tipo ON-OFF.

El primer fenómeno ON-OFF representa la duración de un inicio de sesión. Dentro del estado ON (ON activo) se tiene otro fenómeno ON-OFF, donde los estados ON representan la generación y envío de un archivo FTP y el tiempo OFF (OFF activo), representa el tiempo de espera entre los arribos FTP.



**Figura 54.** Modelo ON-OFF usado para la implementación de fuentes generadoras de tráfico FTP.

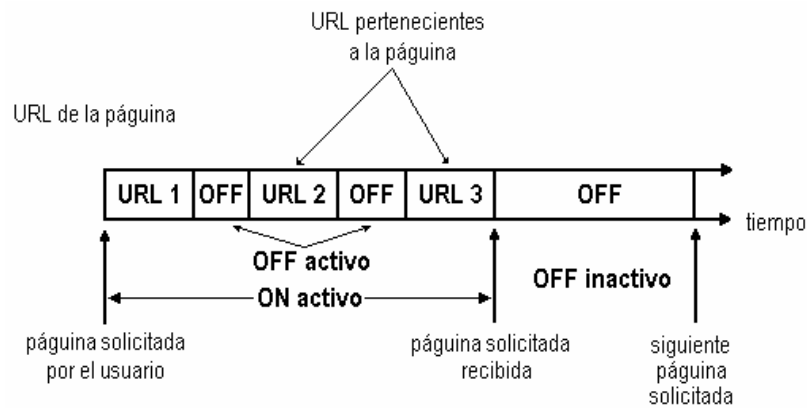
#### A.4.2 MODELO PARA FUENTE DE WWW.

Puesto que el tráfico WWW aporta más del 25% del tráfico en Internet y sigue creciendo más rápidamente que otros tipos de tráfico, el análisis de su comportamiento es importante y se espera que se incremente en importancia. El tráfico WWW posee propiedades auto-similares y puede ser construido multiplexando un gran número de fuentes ON-OFF, donde la duración de los estados ON y OFF representa procesos del tipo heavy-tailed.

En la figura 55 se presenta el modelo ON-OFF utilizado para la generación del tráfico WWW, en donde el periodo en *ON activo* corresponde a la duración de la transmisión de un archivo individual WWW, y el tiempo *OFF inactivo* corresponde al intervalo entre las transmisiones. Dentro del intervalo de tiempo *ON activo* se generan peticiones URL, las cuales dependerán de los objetos que posea la página solicitada por el usuario y esto se modela mediante el uso de otra

fuentes ON-OFF, donde el estado ON representa la generación de un URL y el estado *OFF activo*, el tiempo de espera entre la generación de un URL y otro [Paul Barford y Mark Crovella, 1998].

Mediante trazas obtenidas en diferentes investigaciones se estimó que el tamaño de los archivos que se transfieren en un ambiente WWW son de 1000 bytes o más [Mark E. Crovella y Azer Bestavros, 1996]. La distribución que más se ajusta para la generación de estos archivos es la distribución de Pareto con parámetro de forma que puede estar entre  $1.4 \leq \alpha \leq 1.6$ , mientras que para el tiempo de duración *OFF activo* la distribución que más se ajusta es del tipo Weibull con un parámetro de forma  $\alpha = 1.46$ .



**Figura 55.** Modelo ON-OFF usado para la implementación de fuentes generadoras de tráfico WWW.

Algunos de los principales resultados reportados sobre el comportamiento del tráfico WWW son:

- Los patrones de tráfico generados por navegadores poseen una naturaleza auto-similar.
- Cada uno de los navegadores de WEB es modelado como una fuente ON-OFF y la fuente de generación de datos se ajusta a una distribución de Pareto.
- El tamaño de los archivos disponibles en Internet vía WEB poseen un comportamiento del tipo heavy-tailed.

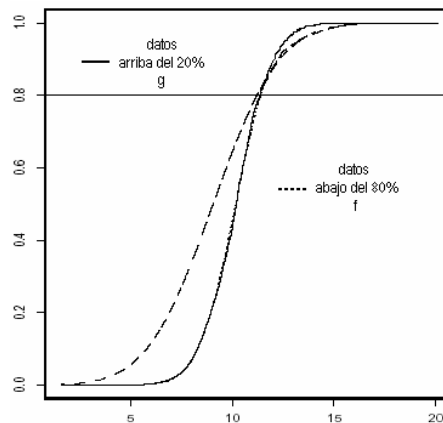
#### **A.4.3 MODELO PARA FUENTE DE SMTP.**

El tráfico SMTP representa una parte muy importante dentro del tráfico de Internet. Por tal motivo se decidió modelar este tipo de tráfico para las pruebas de simulación.



Este servicio es sólo para la transferencia de correo electrónico, el cual debería ser sólo de mensajes cortos, lo que conllevaría a la generación de tráfico que posea tamaños de ráfaga pequeños. No obstante, en estudios realizados sobre la medición de tráfico en algunas redes, se encontró que este tipo de servicio es también usado para la transferencia de archivos. Por tal motivo este tipo de tráfico presenta un comportamiento bimodal.

Para modelar este comportamiento se usaron dos funciones de distribución Log-normal, una para modelar el tráfico que se encuentre por abajo del 80% y otra para modelar el tráfico que se encuentre en el 20% restante. Este comportamiento se observa en la figura 56, donde podemos notar que el tráfico por abajo del 80%, presenta tamaños de ráfaga menores que el tráfico que se encuentra dentro del 20% restante.



**Figura 56.** Gráfica con comportamiento bimodal para la generación de tráfico SMTP.

La línea horizontal indica a partir de dónde se usa una distribución y dónde otra. Los parámetros usados para la función de distribución Log-normal f, fueron con una media de 10 y una desviación estándar de 1.46 y para la función de distribución Log-normal g, la media fue de 8.5 y la desviación estándar de 3 [Vern Paxson, 1993].

# GLOSARIO

**AF** Assure Forwarding.

**AQS** Average Queuing Size.

**BA** Behavior Aggregated.

**BE** Best Effort.

**CBQ** Class Based Queuing.

**CBS** Committed Burst Size.

**CICESE** Centro de Investigación Científico y de Estudios Superiores de Ensenada.

**CIR** Committed Information Rate.

**DiffServ** Differentiated Service.

**DS** Differentiated Service.

**DSCP** DiffServ Code Point.

**EF** Expedited Forwarding.

**FIFO** First Input, First Output.

**FTP** File Transport Protocol.

**IETF** Internet Engineering Task Force.

**IntServ** Integrated Service.

**IS** Integrated Service.

**ITU-T** International Telecommunication Union, Telecommunication Standardization Sector

**IPN** Instituto Politécnico Nacional.

**IP** Internet Protocol.

**ISP** Internet Service Provider.

**MF** Multi-Field.

**OSI** Open System Interconnection.

**PHB** Per Hop Behavior.

**PLR** Probability Loss Rate.

**QoS** Quality of Service.

**SMTP** Short Message Transport Protocol.

## **GLOSARIO (CONTINUACIÓN).**

**SLA** Service Level Agreement.

**TCP/IP** Transport Control Protocol/Internet Protocol.

**TCA** Traffic Conditioner Agreement.

**TB** Token Bucket.

**ToS** Type of Service.

**trTCM** two rate Three Color Market.

**TCB** Traffic Conditioner Block.

**PIR** Peak Information Rate.

**PBS** Peak Burst Size.

**PQ** Priority Queuing.

**PWFQ** Priority Weigh Fair Queuing.

**RED** Random Early Detection.

**UDG** Universidad de Guadalajara.

**UAM** Universidad Autónoma de México

**UDLA** Universidad de las Américas, Puebla

**UNAM** Universidad Nacional Autónoma de México.

**WFQ** Weigh Fair Queuing.

**WRR** Weigh Round Robin.

**WWW** Wide World Web.

**WRED** Weigh Random Early Detection.