

**ANALISIS Y EVALUACION DE LOS SISTEMAS DE
PROTECCION CONTRA LA CONGESTION EN LA
RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS DE
BANDA ANCHA**

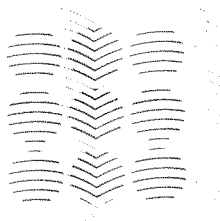
TESIS DOCTORAL

Autor: Germán Santos Boada

Director: Jordi Domingo Pascual

Departament d'Arquitectura de Computadors (UPC)

UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



BIBLIOTECA
EX-LIBRIS

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

DEPARTAMENT D'ARQUITECTURA DE COMPUTADORS

**ANALISIS Y EVALUACION DE LOS SISTEMAS DE
PROTECCION CONTRA LA CONGESTION EN LA
RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS DE
BANDA ANCHA**

TESIS DOCTORAL

Presentada en la Universitat Politècnica de Catalunya para
la obtención del título de Doctor Ingeniero de Telecomunicación

Autor: Germán Santos Boada

Director: Jordi Domingo Pascual

BARCELONA, Noviembre de 1992

A Isabel y a mis padres

Agradecimientos

Quiero agradecer al Profesor Jordi Domingo Pascual, director de esta tesis, el asesoramiento y dedicación prestada en todo momento, a Dolors Royo, José Luis Pascual y Joan Vila su inestimable colaboración en la puesta a punto de los programas de simulación y medida que se han utilizado en las distintas fases, y muy especialmente al Profesor Josep Solé Pareta, compañero y amigo, su apoyo y ayuda sin los cuales no hubiera sido posible hacer llegar a buen término este trabajo.

Análisis y evaluación de los sistemas de protección contra la Congestión en La Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha.

INTRODUCCION. Objetivo de la tesis

La IBCN ("Integrated Broadband Communications Network") está en la actualidad en fase de investigación, desarrollo y elaboración de recomendaciones, y si las previsiones no fallan, será la red que definitivamente integre todos los servicios de telecomunicaciones actuales y futuros.

El hecho de que la IBCN sea una red de conmutación de paquetes basada en la tecnología ATM, y utilice las fibras ópticas como medio de transmisión con una muy baja tasa de errores que posibilita el que se supriman los controles de errores y flujo en los niveles bajos de la arquitectura OSI, hace que el problema del control de la congestión sea uno de los de mas difícil solución en la actualidad.

En los tres últimos años se han publicado muchas aportaciones sobre el tema en la literatura científica internacional que esta tesis trata de sintetizar, clasificar, y analizar.

Por otro lado las denominadas funciones de Policía aparecen como soluciones muy limitadas en la prevención de la congestión tal como están planteadas hasta ahora, y parece que el hecho de complementar estas funciones sea el camino mas viable a corto plazo para intentar mejorar el comportamiento de la red ante la congestión. Esta tesis tratará de encontrar una solución en esta línea y hará la valoración correspondiente, intentando mejorar la utilización de los recursos de la red, en ausencia de congestión y sin menoscabo de la calidad de servicio contratada.

Las aportaciones originales previstas son las siguientes:

. integrar en un modelo general de Gestión de Red compatible con los modelos publicados hasta el momento, la solución de control de la congestión planteada en esta tesis (Parte E)

. realizar una clasificación y modelización de las Funciones de Policía que protegen la red ante una sobrecarga de paquetes por encima de la que garantiza una calidad de servicio determinada (Parte E y F)

. un análisis del papel que juegan las Funciones de Policía en el control de la congestión estudiando los esfuerzos de los investigadores en este campo (Parte G)

. el estudio y evaluación de un nuevo algoritmo complementario a las Funciones de Policía (Parte H) denominado "Vigilante inteligente del tráfico".

Por otro lado, y como función recopilatoria del estado del arte sobre el área estudiada, se describirá de una forma documentada La Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha (Parte A), parámetros en el control de la congestión en Redes ATM (Parte B), la caracterización del tráfico en redes ATM (Parte C y D), análisis comparativo de las funciones de policía mas habituales (Parte E), y la implementación física hardware de las funciones de Policía (Parte I).

INDICE

	<u>Página</u>
<u>Introducción. Objetivo de la tesis</u>	5
<u>Indice.</u>	7
<u>Parte A. La Red Digital de Servicios Integrados en banda ancha.</u>	11
A1. Evolución de redes	11
A1.1 Experiencias previas	13
A1.2 Proyectos actuales en el entorno de la Banda ancha.	14
A1.3 La Red de Banda Ancha	14
A2. Integración de servicios.	15
A2.1 Servicios en banda estrecha.	16
A2.2 Servicios en banda ancha.	18
A3. Tecnologías.	20
A3.1 Transmisión.	21
A3.2 Conmutación.	23
A3.3 ATM.	29
A4. Modelo arquitectónico.	34
A4.1 Arquitectura de comunicaciones de la B-ISDN	36
A4.2 Modelo de referencia ISDN	36
A4.3 Modelo de referencia B-ISDN	38
A4.4 Modelo arquitectónico y ATM	41
A4.5 Acceso de usuario	42
A5. Redes de área metropolitana.	44
Conclusiones Parte A.	46
<u>Parte B. Consideraciones previas en el estudio del control de la congestión.</u>	47
B1. Arquitectura.	47
B.1 Tráfico	47
B.2 Conexión virtual	47
B.3 Protocolos	48

	página
B2. Parámetros	48
B2.1 Ancho de banda requerido	49
B2.2 Tiempo de transferencia	49
B2.3 Probabilidad de pérdida de celdas	50
B2.4 Ragagueo	51
B3. Características.	52
B3.1 Grado de servicio	52
B3.2 Calidad de servicio	53
Conclusiones Parte B.	55
<u>Parte C. Caracterización del tráfico</u>	56
C1. Tipos de tráfico	56
C2. Nivelización del tráfico	59
C3. Modelos de tráfico para evaluación de dispositivos ATM	61
Conclusiones Parte C.	67
<u>Parte D. Fuentes de tráfico utilizadas en esta tesis.</u>	68
D1. Modelo de dos estados	68
D2. Tráfico real de video	69
D2.1 Clasificación del tráfico	70
D2.2 Caracterización del tráfico	72
Conclusiones Parte D.	73
<u>Parte E. Funciones de control de congestión.</u>	74
E1. Necesidad de su existencia	74
E2. Modelo de Sistema de Gestión de Red	76
E2.1 Gestión global de red	78
E2.2 Control de llamadas	80
E2.3 Control de congestión	81
E3. Prioridades.	81
E4. Control de admisiones	83
E4.1 Valor de pico	85
E4.2 Aproximación por convolución	85

	página
E4.3 Two moment allocation	86
E4.4 Función lineal	87
E4.5 Independencia de la fuente	87
E5. Funciones de policía	88
E5.1 Arquitectura	89
E5.2 Actuaciones	91
E5.3 Clasificación de las funciones de Policía	91
E5.4 Funciones nivel celda no modificantes del flujo	92
E5.4.1 Leaky Bucket	92
E5.4.2 Moving Window	102
E5.4.3 Jumping Window	102
E5.4.4 Stepping Window	103
E5.4.5 EWMA	103
E5.4.6 Gabarit	104
E5.4.7 Delta	104
E5.4.8 Combinaciones	105
E5.5 Algoritmos basados en Leaky Bucket	105
E5.5.1 Contador adaptativo	105
E5.5.2 Leaky Bucket con límite variable	106
E5.5.3 Virtual leaky Bucket	106
E5.6 Comparaciones entre los métodos	107
Conclusiones Parte E.	113
<u>Parte F. Nuevas tendencias en las funciones de Policia.</u>	114
F1. Acondicionamiento del ancho de banda	114
F1.1 Funciones dependientes de la carga de red	114
F1.2 Funciones de policía nivel ráfaga	115
F1.2.1 FRP/DT	116
F1.2.2 FRP/IT	118
F2. Funciones de policía modificadoras del flujo	119
F3. Funciones de policía dependientes de la carga de nodo	121
F3.1 Vigilante Inteligente del Tráfico	121
Conclusiones Parte F.	122
<u>Parte G. La Función de Policía como mecanismo de control de la congestión.</u>	123
G1. El dilema de la prevención de la Congestión o mantenimiento de la calidad de servicio.	124

	página
G2. Como influye sobre la congestión el "tricky user"	129
Conclusiones Parte G.	134
<u>Parte H. Vigilante inteligente del tráfico (STW).</u>	135
H1. La vigilancia inteligente.	135
H2. Parámetros que definen la actuación de STW.	138
H3. Control de la congestión en STW	139
H4. Análisis y evaluación del STW	140
H4.1 Función de policía con asignación dinámica del ancho de banda.	140
H4.2 Control de la congestión con STW basado en la tasa de error.	145
H4.3 Control de la congestión con STW basado en la policía de nodo.	154
H4.3.1 Propuesta 1 de STW (STW1).	154
H4.3.2 Propuesta 2 de STW (STW2).	156
H4.3.3 Evaluación de STW1 y STW2.	156
Conclusiones Parte H.	185
<u>Parte I. Implementación física de la función de policía.</u>	186
I1. Leaky Bucket	186
I2. Funciones de ventana	189
I3. Protocolos FRP/DT	189
I4. STW	190
<u>Parte J. Conclusiones.</u>	192
J1. Conclusiones generales.	193
J2. Lineas de investigación abiertas.	193
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	195

Parte A. La Red Digital de Servicios integrados en banda ancha.

A1. Evolución de redes.

Si la situación de las redes de Telecomunicación merecen algún calificativo es el de constante evolución. Las innovaciones tecnológicas han ido permitiendo disponer de potentes máquinas, con gran rapidez de cálculo, lo que ha propiciado una alta descentralización de la información, con la consecuente necesidad de comunicación entre ellas. Así, no es de extrañar la aparición de, por ejemplo, redes locales trabajando a altas velocidades de transmisión (10 Mbps) con costos francamente reducidos.

Mientras que la revolución en redes privadas es evidente, las redes públicas parece que no evolucionen en la misma medida. Esta falsa impresión es debida a que los cambios se producen de forma más gradual, ya que la inversión necesaria es muchísimo más alta. Así mientras ya están en funcionamiento sofisticadas centrales de conmutación digitales, aún están en servicio centrales electromecánicas con un alto coste de mantenimiento y una calidad de servicio francamente inferior.

Esta situación es común a todos los países, aunque cada uno tiene sus peculiaridades dependiendo de que organismo es el encargado de su administración, ya sean empresas privadas como en EEUU, o monopolios, como en la gran mayoría de países europeos.

El estado actual de las redes de telecomunicación es el fruto de las diferentes evoluciones históricas de los distintos servicios ofrecidos.

Inicialmente (años 60), en la mayoría de países existen diversas redes públicas de telecomunicación cada una especialmente diseñada para un determinado servicio. Podemos distinguir dos tipos de redes: las redes en conmutación de circuitos (red télex, red telefónica) y las redes de difusión (radio y teledifusión). Los sistemas en ellos empleados son totalmente analógicos utilizando diversos medios de transmisión: cables de pares, coaxiales y radioenlaces analógicos.

La explotación de las redes conmutadas se realiza en dos áreas muy distintas: la de conmutación (encargada de la interconexión y el control) y la de transmisión. Las primeras centrales de conmutación son de tipo electromecánicas rotativas, cuya principal característica es su control progresivo, es decir, la conexión se va estableciendo sin comprobar previamente si el siguiente tramo está libre. La segunda generación de centrales

son las denominadas de barras cruzadas en las que ya existe un cierto órgano de control común que supervisa la interconexión. Dicho control es inicialmente electromecánico. En cuanto a la transmisión se utilizan técnicas de multiplexación en FDM, totalmente analógicas.

El avance de la tecnología de integración (VLSI) conduce a una progresiva digitalización de la red. Se empieza sustituyendo en muchos sitios el cable tradicional por fibra óptica, y utilizando ahora multiplexación en el tiempo (TDM). Se van modernizando las centrales de conmutación: en las centrales de barras cruzadas el control electromecánico es sustituido por el electrónico, y luego por el digital. Más adelante se construyen ya las centrales totalmente digitales con control por programa almacenado, que funcionan en conmutación de circuitos por división en el tiempo. Se van aproximando las funciones de conmutación y de transmisión, ya que ambas trabajan con tramas TDM, lo que permite realizar la conmutación sin previa demultiplexación.

También dicho avance lleva consigo el auge de las comunicaciones de datos con una velocidad y características que la red télex no puede soportar. Una primera solución es la de utilizar canales telefónicos para la transmisión de datos, via modems, cuya mayor ventaja es que saca provecho de la gran cobertura de la red telefónica, aunque la calidad y velocidad de transmisión están algo limitadas (1200 bps a 2400 bps, con una probabilidad de error de $10E-03$). La segunda solución es la de utilizar líneas dedicadas punto a punto, alquiladas a la compañía operadora de la red. Dichas líneas pueden soportar transmisiones de datos en un amplio rango de velocidades, y con una calidad superior (9600bps con una probabilidad de error de $10E-05$).

Poco a poco, con el auge de la teleinformática, ya parece rentable el pensar en una nueva red exclusivamente para la transmisión de datos, cuyo modo de funcionamiento será en conmutación de paquetes. La tecnología requerida es básicamente digital, aunque en la mayoría de los países se utiliza la infraestructura analógica existente. Dicha red, que en España se denomina IBERPAC, tiene su acceso totalmente normalizado, (acceso X.25) y está interconectada con otras redes de datos del mundo.

En cuanto a las redes de difusión en banda ancha (televisión) el cambio más importante ha sido en general la progresiva utilización de la difusión a través de satélite. Aparte de este avance, no siempre con los resultados deseados, no ha habido ningún otro cambio sustancial, sólo destacar que mientras en Europa el medio de transmisión tradicionalmente utilizado es el de radioenlaces, en EEUU ha cedido gradualmente a la transmisión por cable. Esta diferencia va a hacer que el desarrollo de las actuales infraestructuras hacia una red en banda ancha sea diferente en cada entorno [WOL91].

A1.1 Experiencias previas

En los países más desarrollados, en particular en Europa, ha habido varios proyectos de banda ancha, algunos de los cuales han sido experiencias piloto de las que se han obtenido resultados más o menos satisfactorios, y otros son la base para futuros desarrollos. Entre las experiencias europeas destacan las siguientes:

Proyecto BIGFON (Alemania)

Su principal objetivo es el ganar experiencia tecnológica para poder tomar mejor las decisiones e instalar fibra óptica en el bucle de abonado de una forma regular y para comprobar su viabilidad. Se establecen varias "islas" de banda ancha interconectadas mediante enlaces digitales de alta velocidad. Los servicios ofrecidos son: telefónicos, de datos, alta fidelidad, televisión y videoteléfono.

Proyecto BIARRITZ (Francia)

Su principal objetivo fué el comprobar la capacidad productiva de la industria y ver la aceptación de los servicios por parte de los usuarios. Se realizó una experiencia con 1500 abonados aunque la infraestructura desarrollada soporta muchos más. Los servicios que ofrece son similares a los ofrecidos por el BIGFON.

Proyecto MILTON KEYNES (Gran Bretaña)

Su objetivo principal es la introducción de la televisión por cable, utilizando una red híbrida de fibras ópticas y cable coaxial.

Proyecto BERKOM (Alemania)

Los objetivos de este proyecto se dirigen a potenciar el desarrollo de los servicios, equipos terminales y aplicaciones de banda ancha. Las aplicaciones elegidas como más significativas son: la tele-medicina, la tele-publicación, la automatización industrial distribuida, y sistemas para el tratamiento de la información y oficinas.

Otros países europeos que han establecido diversos proyectos en la misma línea son: Dinamarca (proyecto Arthus), Holanda (proyecto Divar), Italia (proyecto Fiore), Suecia (proyecto Lund) y Suiza (proyecto Marsens).

También en Japon (proyecto HI-OVIS I/II), Canadá (proyecto ELIE) y Estados Unidos (Chicago) se han realizado proyectos similares.

A1.2 Proyectos actuales en el entorno de la Banda Ancha

Actualmente en Europa el proyecto RACE ("Research and Development in Advanced Communication technologies in Europe") es un intento de la Comunidad Económica Europea de hacer frente a las dos grandes potencias tecnológicas (Estados Unidos y Japón) [NOV91], y de optimizar los recursos humanos y económicos de la Comunidad en el sector de las telecomunicaciones. Su principal objetivo es potenciar la investigación en las tecnologías punta y normalizar la red digital de banda ancha. Participan en este proyecto todos los operadores de red europeos, la industria y diversas Universidades.

En España se están desarrollando dos proyectos que pretenden ser coincidentes en el desarrollo de la Banda Ancha [GON91] y que son el PLANBA ("Plan nacional de Banda Ancha") organizado por la Dirección General de Telecomunicaciones y RECIBA ("Red de comunicaciones integradas de Banda Ancha") organizado por TELEFONICA.

A1.3 La Red de banda Ancha

La concepción de la futura red de banda ancha está marcada por cinco tendencias significativas en la evolución de las redes públicas de telecomunicación y de los servicios. Estas tendencias pueden resumirse de la forma siguiente [ARM89]:

- nuevos servicios de banda ancha para la transferencia de información a alta velocidad (por ejemplo, la interconexión de redes locales), o bien para la transmisión de imagen móvil, desde el videoteléfono hasta la televisión de alta definición (HDTV).
- servicios de valor añadido, los cuales pueden incluir funciones de almacenamiento, y/o procesado, y reenvío ("store-and-forward") de la información.
- redes "inteligentes", las cuales aportan una mayor flexibilidad en el uso de la red y nuevos servicios, como, por ejemplo, una red privada virtual soportada por la infraestructura de la red pública.
- comunicaciones móviles, que permitirán llegar a más usuarios de una manera cómoda y flexible.
- gestión integrada de la red, con nuevas funciones para la monitorización y control de la red.

Podemos decir que la red de banda ancha se concibe como una única infraestructura de las telecomunicaciones, que se

caracteriza por ser una red digital que debe servir de transporte para cualquier tipo de servicio portador y de teleservicio, ya sea actual o futuro, y que, además, admite velocidades de transmisión elevadas (de 2 Mbps a 600 Mbps en el acceso de usuario) [FRA91].

Los cambios más significativos que comporta la red de banda ancha se centran en el acceso del usuario y en las técnicas de transmisión y de conmutación. En cuanto a los servicios, el cambio más importante corresponde a la introducción de los servicios de distribución.

El acceso de usuario se modifica en dos aspectos: 1) el medio de transmisión ya no es un par de hilos de cobre sino una fibra óptica, y 2) se introduce la denominada red local de abonado ("Subscriber Premises Network") basada también en la fibra óptica. Hay que tener en cuenta que el hecho de tener que introducir fibra óptica hasta el usuario es un tema complejo y que requiere una planificación bien estructurada. En cambio, el reemplazar los enlaces principales ("trunks") por fibra óptica se está haciendo independientemente de la futura red de banda ancha.

Las técnicas de transmisión y de conmutación para banda ancha constituyen el aspecto más revolucionario e innovador. El hecho de concebir la red como una infraestructura única para las telecomunicaciones, obliga a plantearse nuevas técnicas que permitan adaptar y compartir los recursos de la red de una manera mucho más flexible.

A2. Integración de servicios

El gran aumento de la demanda en las redes de conmutación de los distintos servicios, y la progresiva digitalización de la red convencional, culmina en la creación de una red única que integre los servicios tradicionales y posibles nuevos sobre canales de banda estrecha, es la llamada ISDN ("Integrated Services Digital Network"). En España existe un sistema pre-ISDN, que ofrece un servicio integrado de voz y datos, denominado IBERCOM [SANA91].

En 1984 la Asamblea Plenaria del CCITT adoptó las recomendaciones de las series I para ISDN y definió la ISDN como "una red... que proporciona una conectividad digital extremo a extremo para soportar una amplia gama de servicios, a la cual los usuarios tienen acceso mediante un limitado conjunto de interfaces multipropósito usuario-red" [CCI84]. Este interface estándar ISDN (llamado acceso básico) consta de dos canales "B" de 64kbit/s y de un canal de señalización "D" de 16kbit/s. Por ello, se conoce también al acceso básico por acceso 2B + D. También se define el acceso primario, con una velocidad de transmisión de 1.5 Mbps ó 2 Mbps, para EEUU y Europa respectivamente. Este acceso primario está formado por la

multiplexación de canales B y canales de alta velocidad, denominados H.

En cuanto a la transmisión, ésta es completamente digital y se realiza de forma síncrona multiplexando en el tiempo los canales B y D del acceso básico para formar una trama. Para el acceso primario se utilizan las jerarquías definidas como estándares para la transmisión digital.

Los conmutadores de la ISDN emplean las técnicas de conmutación espacial y temporal de forma combinada. Como la conectividad extremo a extremo se realiza mediante la técnica de conmutación de circuitos, una vez que la unidad de control del conmutador ha establecido el camino, éste se mantiene hasta que finaliza la conexión.

La señalización entre los elementos de la red se realiza mediante el sistema de señalización CCITT n.7, el cual es el soporte principal de las funciones de las denominadas "redes inteligentes". La señalización del bucle de abonado es digital y se realiza por el canal D.

En resumen, la evolución desde las redes actuales a la red de banda ancha pasa por tres fases diferenciadas: a) la red digital, que supone la digitalización de las redes actuales, b) la Red Digital de Servicios Integrados (ISDN), con la integración de voz y datos y la digitalización hasta los puntos de acceso de usuario, y c) la ISDN de Banda Ancha (B-ISDN), que supone la integración de voz, datos, imagen fija y vídeo [SPE87].

A2.1 Servicios en banda estrecha

Los servicios de telecomunicaciones en la ISDN se dividen en dos categorías generales [SANb91]:

- Servicios portadores
- Teleservicios

Un servicio portador ofrece al usuario de la ISDN, a través del interface normalizado de acceso usuario-red, una capacidad de transporte de información que es independiente de su contenido y aplicación.

El usuario, al enviar la información, debe cumplir los protocolos de señalización del acceso usuario-red ISDN (Interface S), pero se puede utilizar cualquier tipo de terminal para su comunicación.

Un teleservicio ofrece al usuario una capacidad de comunicación completamente definida en todos sus aspectos, tanto en lo referente al transporte de las señales como a la organización y presentación de la información (tipo de información, de terminal, etc).

Existen otros tipos de servicios, denominados servicios suplementarios que son aquellos que modifican la prestación de un servicio básico (portador o teleservicio) ofreciendo al usuario unas facilidades adicionales . Los servicios suplementarios se ofrecen siempre a los usuarios asociados a un servicio básico como un servicio independiente [TEL90] [STA85].

Servicios portadores

La ISDN puede ofrecer a sus usuarios los servicios de transmisión de datos basados en conexiones a $n \times 64$ Kbps. ($1 \leq n \leq 30$). Se pueden clasificar

. Modo circuito:

- Servicio portador a 64 Kbps. sin restricciones estructurado a 8 Khz.

- Servicio portador a 64 Kbps estructurado a 8 Khz y utilizable para conversación.

- Servicio portador a 64 Kbps. estructurado a 8 Khz y utilizable para señales de audio de 3.1 Khz.

- Servicio portador a 64 Kbps,estructurado a 8 Khz., para transmisión alternada de señales de conversación y señales sin restricciones.

- Servicio portador a 64 Kbps, estructurado a 8 Khz. para transmisión alternada de señales de conversación y de señales de ancho de banda de 3.1 Khz.

- Servicio portador a 384 Kbps, estructurado a 8 Khz, sin restricciones.

- Servicio portador a 1920 Kbps.,estructurado a 8 Khz. , sin restricciones.

. Modo Paquete.

- Servicio portador en modo paquete, que permite la transferencia de información de usuario sin alteraciones, en forma de paquete por un circuito virtual ofrecido por el canal B o D.

Teleservicios

-Telefonia

-Facsimil (grupos 2,3 y 4)

-Teletex

-Modo mixto (combinación de teletex y facsimil)

-Videotex (1200/75 bps,1200/1200 bps,64 Kbps)

- Datáfono
- Cualquier servicio reconocido con interface R o S.

Servicios Suplementarios

El repertorio de servicios suplementarios de la ISDN es muy extenso. Existen tres tipos generales de servicios suplementarios:

- Los que requieren funciones en varias centrales de la red.
- Los que solamente requieren funciones específicas en la central local a la que pertenece la línea digital.
- Los que pueden ser ofrecidos tanto desde el propio terminal de usuario como desde la red.

La lista de estos servicios puede ser vista en [TEL90]

A2.2 Servicios en banda ancha

Cuando en 1984 se escribieron las recomendaciones de la serie I se vió que existía la demanda de numerosos servicios que requerían velocidades de transmisión superiores a 2Mbit/s y se decidió empezar a estudiar otros tipos de interfaces y de canales H que permitiera integrarlos.

En efecto, además de la telefonía, la TV es ya un teleservicio usual, y se está incrementando rápidamente en los países en vías de desarrollo. La televisión por cable sobre cables coaxiales, se utiliza en muchas ciudades para aumentar el número de servicios de distribución. Una nueva dimensión de la utilización de canales de TV es la TV por cable interactiva. Con ella cada usuario puede acceder a uno o más canales de video individuales sobre los cuales puede seleccionar programas o almacenar información de banda ancha. Este servicio que resulta muy atractivo por su gran variedad de aplicaciones no puede ser realizado de forma económica utilizando los sistemas de TV por cable coaxial convencionales [SPE87].

El servicio de videoconferencia comienza a introducirse. Sin embargo, el coste de los estudios de videoconferencia es muy elevado. Además, las redes de telecomunicaciones existentes no pueden proporcionar de forma económicamente viable canales de transmisión y equipos de conmutación que permitan una transmisión de voz e imagen satisfactoria. La misma situación ocurre con el servicio de videoteléfono. Los primeros intentos de introducir el servicio de videoteléfono han fracasado probablemente debido a la calidad insuficiente de voz e imagen, a la necesidad de condiciones ambientales de "muchísima luz" en los centros de comunicación, y al precio de este servicio (equipo terminal, de transmisión y de conmutación) [BHN86].

La introducción de la red B-ISDN permitirá el desarrollo de un nuevo conjunto de servicios que con la posibilidad de imágenes móviles y la transmisión a alta velocidad y con mayor definición de documentos, imágenes, gráficos y grandes volúmenes de texto y datos, ofrecerá un gran número de aplicaciones totalmente nuevas.

Los servicios de banda ancha junto con sus aplicaciones pueden dividirse en cuatro categorías de comunicación [ARM86]: diálogo, extracción, acceso y distribución. Esta lista incluye servicios portadores que proporcionan capacidad de comunicación entre interfaces de red normalizados y corresponden a las capas 1 a 3 del modelo de referencia ISO-OSI, y los teleservicios que proporcionan capacidad completa de comunicación usuario a usuario y corresponden a las 7 capas.

Servicios de diálogo

En ellos las dos o más partes que se comunican intercambian mensajes individuales (videoteléfono o videoconferencia, por ejemplo). En esta categoría se incluyen también transmisiones unidireccionales a través de memoria a uno o más usuarios (por ejemplo transmisión de datos a alta velocidad). Las características del transporte y del servicio dependerán tanto de la aplicación como del servicio. Así por ejemplo un servicio de transferencia de imagen utilizado para enviar imágenes médicas tendrá un tamaño de ráfaga mayor (120 Mbits) que el mismo servicio utilizado para enviar diseños de alta costura (8 Mbits).

Servicios de extracción (retrieval)

Permiten a los usuarios acceder de forma selectiva a una determinada información en un centro de servicio (por ejemplo: obtención de una determinada película, consulta de documentos de archivos electrónicos -aplicación que será importante para el sector de oficinas-, o videotex).

El videotex de banda ancha permitirá además de transmitir texto y gráficos, como actualmente ocurre, la inclusión de sonido, imágenes e incluso pequeñas secuencias de películas. Entre sus posibles aplicaciones se incluye: lecciones audiovisuales, catálogos de compra, información de agencias de viaje con la posibilidad de hacer reservas de plazas, etc.

Servicios de acceso a información transmitida periódicamente:

El cabletext usa un canal completo de TV u otros canales para transmitir una extensa gama de páginas de texto y gráficos o teleprogramas (teletexto interactivo). Como "periódico electrónico" que usa las redes públicas o como sistema de información para hoteles, hospitales, etc... el cabletext permitirá un acceso a bajo coste a información frecuentemente solicitada.

Servicios de distribución

Distribuyen programas o información a un gran número de usuarios simultáneamente (por ejemplo televisión). Los principales desarrollos en lo que atañe a la televisión es aumentar el número de programas disponibles y nuevos estándares que mejoren la calidad de sonido e imagen. La solución a largo plazo es la televisión de alta definición (HDTV) que requiere una señal de banda base entre 20 y 30 Mhz. El valor digital equivalente es de 600 Mbps. Utilizando técnicas de compresión se puede reducir a 140 Mbps.

A3. Tecnologías

La tecnología de banda ancha ha surgido como una alternativa muy atractiva para el futuro de las redes de comunicaciones, con la posibilidad de asignación flexible de ancho de banda, que permitirá proporcionar todos los servicios actualmente existentes junto a una amplia gama de futuros servicios. Permitirá un elemento de conmutación más integrado, eliminando la necesidad de un conmutador para cada tipo de servicio, junto con la complejidad y alto coste que esto lleva asociados.

Ahora parece haber llegado el momento de los servicios de banda ancha: un conjunto de avances tecnológicos junto con la disminución de los costes son los responsables de que comience la introducción de los sistemas de comunicación de banda ancha.

El uso de fibra óptica monomodo cuyo coste ha bajado mucho y sigue bajando (600 ptas/m en 1982, 40 ptas/m en 1987 y se espera que baje a 6 ptas/m para 1993) permite ofrecer canales de transmisión de banda ancha para las líneas troncales y las líneas de acceso a los usuarios.

La fibra óptica, inventada hace apenas 20 años, es ya hoy el medio de transmisión principal para larga distancia en USA, Gran Bretaña y Alemania y está empezando a utilizarse en las líneas de acceso al usuario [SANA91]. La utilización de la fibra monomodo en la transmisión extremo a extremo es el elemento clave para que la banda ancha sea viable.

El diseño de la fibra óptica ha evolucionado, resolviendo los distintos problemas que planteaba: pérdida de potencia debido a la absorción de la luz a lo largo de la fibra, interferencia entre los diferentes modos, y dispersión de la señal. Los problemas de pérdidas de potencia se han minimizado escogiendo longitudes de onda de la luz para las cuales la absorción se minimiza: 0.8, 1.3 ó 1.5 micras. La interferencia entre los distintos modos se resolvió inicialmente utilizando fibra de índice gradual, que tiene un índice de refracción que varía a lo ancho para equalizar las velocidades de transmisión de los distintos modos. Pero como la fibra de índice gradual era

bastante costosa, en muchas aplicaciones se ha sustituido por una solución más sencilla: la fibra monomodo, que es tan delgada que sólo permite la propagación de un único modo [TIM89]. Sin embargo, hasta hace poco, era necesario utilizar transmisores láser para ella. Estas fuentes de láser monomodo no tienen una fiabilidad ni un coste aceptable a corto plazo para su utilización en el acceso de abonado. Recientemente se ha demostrado que los diodos emisores de luz (LED), utilizados en sistemas multimodo de baja velocidad, tienen un coste mucho menor y cumplen los requisitos de fiabilidad que requiere el acceso de usuario, pueden también utilizarse en distancias significativas en las fibras monomodo a frecuencias en el rango de los 600 Mbps.

Como la tecnología láser para las aplicaciones de acceso de usuario sigue mejorando y su coste va disminuyendo, parece que tanto las fuentes láser como LED podrán utilizarse como fuentes ópticas de bajo coste en las redes integradas de banda ancha [BAT88].

Los avances en la tecnología de multiplexación síncrona, el amplio desarrollo de sistemas de fibras incompatibles y la necesidad de una gestión flexible del ancho de banda ofrecido por los sistemas de transmisión por fibra han llevado a la formulación del concepto de red óptica síncrona (SONET). SONET es una jerarquía formada por una familia de señales eléctricas de transporte síncrono (SDH) que pueden convertirse fácilmente a una familia de portadoras ópticas (OC). Con ello, SONET proporciona un conjunto de interfaces de transmisión para el equipo del usuario, conmutadores y sistemas de distribución y transporte. Actualmente se propone SONET como una base para definir las interfaces usuario-red de banda ancha [HAC89].

Los circuitos microelectrónicos en tecnología Si-Bipolar, MOS y GaAs podrían ofrecer bloques de alta velocidad / alta complejidad / bajo coste para equipos de abonado, conmutación y transmisión. Es necesario que los bloques básicos para transmisión, conmutación, control y procesado de señal sean de bajo coste para que los servicios de banda ancha puedan utilizarse a gran escala. Esto requiere la más alta integración monolítica para los subsistemas electrónicos necesarios, con la restricción de la necesidad de modularidad del sistema.

A3.1 Transmisión

Para poder utilizar el ancho de banda de los enlaces de una manera flexible y óptima, tal como requiere la integración de servicios, (con una gama de velocidades de transmisión amplia y de servicios con velocidad de transmisión variable), no es adecuada la asignación estática y a fracciones de, por ejemplo, 64 Kbps. Como se ha visto anteriormente, los canales B y H de la ISDN son múltiplos de 64 Kbps. Entonces, a un servicio que requiera una velocidad de transmisión de 200 Kbps, por ejemplo, se le deberá asignar un canal H0 de 384 Kbps, desperdiciando una

parte considerable del ancho de banda. Utilizando accesos primarios la asignación se haría a fracciones de 1.5 Mbps o 2 Mbps. Un servicio que requiera 150 Mbps debería asociarse a 75 accesos primarios de 2 Mbps.

Por otro lado, tanto los nuevos algoritmos de codificación de voz como los de vídeo producen la información a un ritmo no constante, lo que supone una velocidad de transmisión variable. Ello implica que siempre se debería reservar el ancho de banda correspondiente a la velocidad de transmisión máxima [WOL91].

Jerarquía Digital Sincrona

Las redes actuales están utilizando la denominada Jerarquía Digital Plesiócrona, considerando el concepto plesiócrono (CCITT,G701) como aquel que relaciona dos señales que tienen una misma velocidad digital nominal pero que no provienen de un mismo reloj o de relojes homónimos. En esta jerarquía existen dos normalizaciones correspondientes al modelo americano y al modelo europeo, pero ambas basadas en la velocidad primaria por canal de 64 Kbps, obteniendo el primer nivel jerárquico con 24 canales para el caso americano y 30 canales para el europeo.

Las limitaciones de este sistema se pueden resumir [GIL91] en la complejidad de la mul/demultiplexación y en la dificultad de la gestión de red (TMN).

Recientemente se ha propuesto en el entorno ANSI ("American National Standardization Institute") el estándar SONET ("Synchronous Optical Network") basado en un número entero de flujos básicos, múltiplos de 51.84 Mbps [HAC89]. Esta propuesta ha sido recogida por el CCITT que la ha normalizado en tres recomendaciones G.707,G.708 y G.709 bajo el nombre de SDH ("Synchronous Digital Hierarchy") y referida a los nodos de red y al interface nodo-red.

Las facilidades que nos ofrece la SDH serán [HAR91] una Jerarquía Global y universal, simplicidad en la multiplexación gracias a la visibilidad de los bytes en todas las velocidades de transmisión, facilidad de interconexión entre operadores de red ("Mid-span meet"), y una capacidad total de gestión de red.

La estructura de trama del módulo básico STM-1 la define la recomendación G.708 del CCITT [WRI91] y tal como se desprende de elle la velocidad de transmisión básica será 155,520 Mbps.

El contenido de STM-1 es de bytes de información y de gestión (capacidad auxiliar). Estos últimos se ajustan a principios de estandarización de formatos con estructura de capas que corresponden a las distintas partes de red y facilidad de acceso a los canales de datos auxiliares [GIL91]. Esto nos proporcionará la capacidad de monitorización de error y el direccionamiento de los flujos digitales mediante una dirección que caracteriza a

cada módulo STM-1.

Las multiplexaciones de nivel superior serán STM-n siendo $n = 4$ y $n = 16$ dando respectivamente una velocidad en línea de 622 Mbps y 2.5 Gbps.

A3.2 Conmutación

La técnica de conmutación de paquetes utilizada en las redes de datos X25 proporciona esta flexibilidad requerida en la utilización y compartición de los enlaces y conmutadores de la red. La conmutación de paquetes requiere una capacidad de almacenamiento en los conmutadores para poder resolver aquellos instantes en que el flujo de paquetes supera la capacidad de los enlaces. Sin pretender ser exactos, podemos decir de manera intuitiva que la evolución de la conmutación de paquetes a la conmutación rápida de paquetes ("Fast Packet Switching") es la base de la conmutación en redes de banda ancha. El CCITT [CCI88], en junio de 1988 adoptó ATM ("Asynchronous Transfer Mode") como la técnica de transporte de información para la futura red de banda ancha. ATM es un modo de transferencia donde el flujo de información de una fuente está organizado en paquetes de longitud fija denominados celdas. Es asíncrona en el sentido que el intervalo entre celdas consecutivas de una conexión individual depende de la velocidad de transmisión requerida por la fuente de información en cada instante [EXP88] [KOH88] [MIZ89].

El soporte físico de la técnica ATM es la multiplexación por división del tiempo asíncrona (ATD), donde el flujo de bits está estructurado en intervalos de tiempo que corresponden estrictamente a una celda. Las celdas están formadas por una cabecera y un campo de información. Los valores de la cabecera se asignan en cada sección del circuito virtual en el establecimiento de la conexión, y se liberan al finalizar ésta [HAN89].

Por contra, en el modo de transferencia síncrono (STM) el flujo de información de una fuente está organizado en palabras de longitud fija que son transportadas de forma periódica. El soporte físico es el STD, técnica de multiplexación donde el flujo de bits está estructurado en tramas. Cada trama está formada por intervalos de tiempo, y uno o más intervalos de tiempo dentro de la trama representan un canal. La separación de los canales se realiza de forma síncrona.

Quizás puede ayudar a entender mejor lo que se gana en la utilización del ancho de banda con ATM respecto del STM si se considera lo que se gana en la multiplexación estadística respecto de la multiplexación en el tiempo normal.

La cabecera de la celda ATM contiene la identificación del canal virtual y un código para la detección de errores. En la red sólo se realiza el control de errores sobre la cabecera de las

celdas ya que la información del canal virtual es la que se utiliza en los conmutadores para encaminar las celdas, y un error en el identificador del canal sería desastroso. Además, la cabecera de las celdas contiene otras informaciones vitales para el funcionamiento correcto de la transmisión.

Se puede emplear un canal especial para indicar que la celda está libre, o bien, se puede indicar en la cabecera de forma explícita. En la última reunión del CCITT, en junio de 1989, se definió la celda ATM formada por 5 octetos de cabecera más 48 octetos de información (424 bits).

La utilización de la técnica ATM introduce una serie de problemas nuevos que se deben solucionar. Por ejemplo, el retardo correspondiente a la transferencia de una celda no es constante debido al almacenamiento de las celdas en los conmutadores; como el retardo para una celda no es constante tampoco lo es la distancia temporal entre dos celdas consecutivas de una misma conexión ("jitter"). En los conmutadores, cuando se supera el flujo máximo de un enlace o se llena una cola se pierden celdas, ya que no existe ningún mecanismo de control de errores en los enlaces punto a punto ni retransmisión de las celdas perdidas o erróneas.

Estos tres aspectos mencionados tienen un impacto en la calidad de los servicios de banda ancha y se debe estudiar los efectos de cada uno de ellos. En una primera aproximación podemos decir que para la transferencia de datos el factor crítico es la pérdida de celdas, mientras que el retardo y la variación del mismo no importan. Para servicios vocales o de vídeo, en cambio, la repercusión del retardo variable y del "jitter" puede presentar problemas complejos [FRA91].

Uno de los aspectos más críticos de la futura IBCN ha sido la elección de la técnica de conmutación en la que basar el transporte de la información a través de ella. El modo de transferencia asíncrono (ATM) es el mecanismo suscrito por el CCITT, y éste parece ser el que se va a utilizar.

Una vez resuelto el problema de la elección del mecanismo de funcionamiento en favor de ATM, la preocupación inmediata es disponer de conmutadores para dicha técnica con las prestaciones que esta red demanda: ¿es posible ya hoy en día?, o, ¿lo será a corto plazo?, ¿qué tecnologías van a propiciarlo? y, ¿cuales de ellas son las más adecuadas?.

La utilización de tecnología óptica en los conmutadores sería lo más coherente con los sistemas de transmisión por fibra óptica que se preveen para la IBCN, puesto que evitaría reiterativas conversiones de la señal de óptica a eléctrica y viceversa a las que obliga el uso de conmutadores eléctricos.

Desafortunadamente los dispositivos de conmutación óptica

propuestos, hasta el momento en fase de investigación [PER87], aún son mucho más caros y complejos que los conmutadores eléctricos con conversión incluida. La evolución que ha seguido la tecnología utilizada en los conmutadores, juntamente con una predicción de las perspectivas a corto y largo plazo, deja la disponibilidad de los conmutadores ópticos para más allá del año 2000, y sitúa la de conmutadores eléctricos suficientemente rápidos como inminente. De todas maneras el uso combinado de dispositivos de conmutación ópticos y eléctricos podría ser una alternativa a medio plazo.

El funcionamiento ATM aplicado a una red que integra toda clase de servicios, tiene sus ventajas en lo que a optimización de la utilización del ancho de banda se refiere pero tiene también sus inconvenientes. A lo largo del texto nos extenderemos más sobre este punto, sobre las características más significativas de esta técnica y de otras que se han ido desestimando para la misma función, así como en la utilización de conmutadores eléctricos en el entorno IBCN/ATM.

Técnicas de conmutación

Las técnicas de conmutación, estrictamente hablando, son sólo cuatro [DAD89]: espacial, temporal, frecuencial y filtraje de direcciones. Lo que aquí trataremos son, en realidad, mecanismos de transporte de información a través de la red, que se pueden ver como combinaciones de las técnicas de conmutación básicas que acabamos de mencionar. La conmutación de circuitos, en redes digitales, es una combinación de la conmutación espacial y de conmutación temporal; en redes analógicas, telefonía tradicional, es simplemente una conmutación espacial; la conmutación de paquetes es un filtraje de direcciones con una componente de conmutación espacial, etc.

ATM no es la única opción en que se podía pensar para el transporte de información en la IBCN. Es interesante cuestionar la idoneidad de toda una serie de técnicas de conmutación que están a caballo de la conmutación de circuitos y la conmutación de paquetes convencionales. En este apartado se analizan las que parecen más significativas: conmutación de circuitos, conmutación de circuitos en multivelocidad (MRCS, "MultiRate Circuit Switching"), conmutación rápida de circuitos (FCS, "Fast Circuit Switching") y la propia conmutación rápida de paquetes ATM o FPS ("Fast Packet Switching") [TUR86].

Además de la utilización, otros parámetros a tener en cuenta en una evaluación de las distintas técnicas de conmutación para banda ancha son: la compatibilidad con sistemas ya en funcionamiento, la disponibilidad tecnológica, el grado de servicio (relación calidad cantidad) que proporcionan, etc.

Conmutación de circuitos

La multiplexación por división de frecuencias (FDM) que al principio fue el soporte de transmisión para la conmutación de circuitos, ha ido perdiendo terreno con la digitalización de las redes telefónicas en beneficio de la multiplexación por división en el tiempo (TDM), hasta el punto que hoy en día la conmutación de circuitos va asociada a alguna forma de transferencia síncrona (STM, "Synchronous Transfer Mode") [MIN89].

La conmutación de circuitos así entendida, que es la técnica adoptada en la ISDN parecía al principio que podría ser, también, la base de funcionamiento de la B-ISDN. Se pensaba en un acceso del tipo i canales H4 más j canales H3 más k canales H2 más g canales H1 más m canales H0 más el acceso primario a ISDN nB+D [MIN89]. Con ello se daba la máxima prioridad al objetivo de compatibilizarla con los sistemas ya existentes puesto que B-ISDN no iba a ser más que una extensión de ISDN; con la ISDN totalmente implantada el paso a B-ISDN no presentaría problemas de compatibilidad.

Inconvenientes. La conveniencia de utilizar la conmutación de circuitos en redes de banda ancha se cuestiona porque la flexibilidad que ofrece no se adecúa a las futuras necesidades del servicio; el inconveniente principal que esta técnica presenta es, pues, la rigidez de la interface de usuario.

MRCS "Multirate Circuit Switching"

Es una simple extensión de la conmutación de circuitos que permite trabajar en un rango más amplio, aunque discreto, de velocidades de transmisión; las que son múltiplos de una determinada que se toma como base (p.e. 8 Kbps ó 64 Kbps). En el establecimiento de la conexión es posible negociar el número de canales necesarios para llevar a cabo la comunicación.

Inconvenientes. Esta técnica plantea de entrada serios problemas, el primero de ellos es de realización al escoger la velocidad de transmisión base: una velocidad muy baja (1 Kbps) puede implicar fuertes retardos debido a la gran longitud que requieren las tramas, mientras que una velocidad muy alta haría poco eficiente el sistema para conexiones de baja velocidad. La complicación añadida al proceso de establecimiento de la conexión es otro de los problemas ya que lo puede hacer muy lento al tener que inicializar todos los canales necesarios uno por uno. Incluso en el caso de una velocidad base relativamente alta (1 Mbps), puesto que una conexión de video podría llegar a necesitar el establecimiento de más de 100 canales. Además, determinadas aplicaciones, como por ejemplo el acceso a ficheros remotos, requieren ocasionalmente, la transferencia de ráfagas a velocidades de hasta 10 Mbps, y dedicar conexiones de alta velocidad (asignación de muchos canales) a este tipo de aplicaciones es caro e ineficiente.

Conmutación rápida de circuitos (FCS)

La conmutación rápida de circuitos sigue las mismas directrices que la técnica anterior (el usuario puede establecer conexiones de un múltiplo entero de canales básicos) pero añade un grado más de flexibilidad: la conexión se establece y se libera a cada ráfaga de tráfico. El consiguiente aumento de utilización de recursos que esto supone competirá con la necesidad de mecanismos de control más complejos.

Nuestra atención se va a centrar en una modalidad de la FCS, la conmutación de ráfagas ("Burst Switching", BS), cuya diferencia principal es que la conexión, en el sentido estricto de la palabra, se establece una sola vez, al inicio de la comunicación. Es entonces cuando se le asigna una determinada ruta que se memoriza en cada uno de los nodos por los que pasa. A partir de este momento pueden ser los propios nodos los que se encarguen de redistribuir los recursos de transmisión entre las conexiones activas, de reconocer nuevas ráfagas y de encaminarlas al punto de destino. En cualquier caso una determinada conexión sólo ocupa los recursos que tiene asignados mientras hay una ráfaga en curso que es lo más característico de FCS [PER87] [AMS89].

Esta forma de transferencia requiere la inclusión de determinada información de control en las ráfagas que permita identificarlas; básicamente una cabecera y una marca de final (la duración de una ráfaga no es fija ni previsible). La cabecera debería alojar el tipo de ráfaga (para mejorar la eficiencia del sistema puede ser útil poder distinguir las ráfagas de voz, de imagen, de datos y de señalización), la dirección del nodo destino y, posiblemente, un código de protección contra errores de la propia cabecera.

Inconvenientes. La mejora de eficiencia respecto a MRCS es evidente, sin embargo sigue conservando algunos de sus inconvenientes (p. e. determinación de las características del canal básico). Además, determinados picos de tráfico pueden producir el bloqueo de los conmutadores y en consecuencia la pérdida de ráfagas de información; por otro lado, el retardo que introduce la red entre ráfagas no es constante como lo sería en MRCS.

Esta técnica es especialmente importante dado que como veremos mas adelante para ciertos tipos de tráfico las tendencias en la investigación indican que se utilizarán, para evitar la congestión, ciertos protocolos [BOY91] que trabajando con conmutadores ATM estos realizarán funciones de burst switching.

Conmutación de paquetes (PS)

La conmutación de paquetes se basa, como técnica, en la

utilización de los recursos de transmisión como cintas transportadoras por las que es posible trasladar paquetes de información, uno detrás de otro a través de toda la red. La información, pues, se divide en bloques compactos (paquetes) indivisibles desde el punto de vista de la red, y dichos paquetes se proveen de una cabecera con la que identificar la conexión lógica a la que pertenecen. Este es el sistema que, de una forma más natural, permite acomodar en una red conexiones de ancho de banda arbitrario y por lo tanto la que mejor optimizaría la utilización de recursos en la IBCN.

Inconvenientes. La utilización de una técnica totalmente asíncrona en una red que quiere integrar voz, datos e imagen tiene como principal inconveniente el retardo introducido por los nodos de conmutación, porque puede alcanzar valores considerables, pero, sobre todo, porque es variable de un paquete a otro de la misma conexión. Si a ésto le añadimos la presencia de los procesos de control tanto de errores como de flujo nos encontramos ante el dilema de incrementar, aún más, el retardo o permitir una tasa determinada de pérdida de paquetes.

Esta situación obligaría a un planteamiento muy distinto según fuese el tipo de servicio que se tratase puesto que, por ejemplo, las conexiones persona-persona son muy sensibles al retardo y en cambio pueden tolerar una tasa de pérdida de información relativamente alta, mientras que el tráfico de datos, producto de conexiones máquina-máquina, es extremadamente vulnerable a la pérdida de paquetes, pero muy consentido con el retardo; en medio están las conexiones persona-máquina ("servicios de extracción" básicamente) que se puede decir que son sensibles a la pérdida de información, sólo por parte de la máquina, y que tolera retardos pero con ciertas limitaciones; el usuario no nota las fracciones de segundo pero si las de minuto.

Todo ello hace totalmente inviable el uso de PS en IBCN.

ATM y conmutación rápida de paquetes (FPS)

Sin embargo una mejora de la conmutación de paquetes, la conmutación rápida de paquetes, conduce a resultados mucho más óptimos. La mejora consiste, básicamente, en una reducción del tamaño de los paquetes y en su transferencia a una velocidad mucho mayor; con ello se consigue aumentar el número de paquetes por unidad de tiempo que se mueven de un lado a otro ("throughput"), y disminuir el retardo respectivamente.

FPS es factible gracias a la concurrencia de ciertos aspectos de gran relevancia. Uno de ellos es la gran evolución de los sistemas de transmisión modernos (fibras ópticas etc.) que hace posible trabajar a velocidades muy altas y además con una tasa de error muy baja, lo cual permite a su vez eliminar casi totalmente los protocolos de control de errores y de flujo de nivel 2 y 3 (modelo ISO/OSI), y, en el caso de conexiones que

soportan transferencias de datos, poderlos suplir facilmente por los de nivel 4. Otro de estos aspectos es la posibilidad de aplicar para este uso estructuras de conmutación de alta velocidad de las que hablaremos más adelante, un ejemplo de las cuales son las redes de interconexión que originalmente fueron diseñadas para computadores de procesado paralelo.

En resumen, es posible utilizar dispositivos para la transmisión de altas prestaciones, redes de interconexión en el diseño de los conmutadores y el procesado hardware de los protocolos, y así conseguir una reducción del tiempo de espera en los nodos y, por tanto, una sustancial mejora de la relación calidad cantidad respecto a PS.

A3.3 ATM

ATM, que es como ya hemos avanzado, la técnica en la que actualmente se piensa para la IBCN, es la fórmula de FPS que incorpora la condición de paquetes de tamaño fijo denominados celdas (5 octetos de cabecera y 48 de campo de información, según el CCITT). Además utiliza un soporte de transmisión de canal ranurado ATD ("Asynchronous Time Division") que no es otra cosa que una multiplexación temporal, tipo TDM, al tiempo de celda sin sincronización o referencia común y que permite la asignación permanente de las mismas ranuras a las conexiones en curso [HUI89]. ATM es el caso contrario del modo de transferencia síncrono (STM), que anteriormente se ha asociado con la conmutación de circuitos.

Inconvenientes. Este tipo de funcionamiento ocasiona un problema nuevo, producto de la simplificación de los protocolos de control de flujo a nivel 2 y 3, y es que existe un alto riesgo de congestión y de fraude -un determinado usuario podría utilizar muchos más recursos de los negociados en el establecimiento de la conexión pudiendo perjudicar así a otros usuarios-. La técnica ATM, pues, lleva asociada otro tipo de necesidades en lo que a gestión de red se refiere: "control de admisiones" y "funciones de policía" que son objeto directo de esta tesis.

Diferencias entre BS y ATM

BS es la técnica que más ha rivalizado con ATM, es por ello interesante hacer una comparación entre las dos.

Una diferencia de la conmutación de ráfagas con la conmutación de paquetes en general, es que los nodos pueden dar salida a las ráfagas inmediatamente despues de haber reconocido su cabecera, y como mucho la espera se limita a disponer de suficientes recursos como para cubrir la asignación de la conexión a la que pertenece aquella ráfaga. Esto hace que en BS no se produzcan retardos por paquetización en los nodos de acceso ni por espera a la recepción completa de los paquetes (ráfagas en

este caso) en los nodos intermedios como en conmutación de paquetes. Esto no obstante tiene una importancia relativa en ATM, por lo reducidos que pueden llegar a ser dichos retardos. Lo que ya es más significativo es la diferencia que puede existir en pérdida de eficiencia por información de control añadida entre ambos sistemas; en ATM por ejemplo, alcanza un valor del 9,4 % $([1-(48/53)] \times 100)$, siendo una pérdida tan grande, en media, poco probable en BS.

Exceptuando el tráfico de datos, las consecuencias que sobre el resto puede tener un retardo variable entre paquetes ("jitter") son, en general, más graves que las derivadas de un retardo variable entre ráfagas.

Pero, por otro lado, si se requiere manejar una gran variedad de velocidades de transmisión, la utilización de recursos es mucho más óptima en ATM que en BS puesto que, recordemos, BS trabaja a base de la asignación de un número entero de canales por conexión; por poco que la velocidad de transmisión de la fuente vaya a requerir más de un canal en algún momento ya es necesario asignarle dos.

Conmutadores para ATM

El diseño del conmutador es crucial en el desarrollo de la IBCN/ATM. Mientras la disponibilidad de los conmutadores ópticos, que parecen la solución más natural esté tan lejana las expectativas deberán centrarse en los conmutadores eléctricos [NUS88]. Así la elección de una estructura adecuada ocupa, en la actualidad, el centro de muchos esfuerzos en proyectos de investigación de ámbito internacional.

Criterios de selección del conmutador

De lo que se ha dicho anteriormente se desprende que en la selección de dicha estructura los aspectos que habrá que observar con más rigor son el retardo y la tasa de paquetes perdidos que introduce. El comportamiento de los conmutadores en este sentido es de capital importancia para el correcto funcionamiento de la red puesto que son parámetros acumulativos.

Pero además de la conducción de celdas de información hacia su destino en las condiciones que demanda el servicio, hay otra serie de funciones y requisitos comunes al propio conmutador, independientemente de su modo de funcionamiento, que también hay que tener en cuenta en la elección de su estructura y de lo que se trata es de determinar la que, en conjunto, las realiza más eficiente, fiable y económicamente. Entre ellas destacaremos las siguientes:

Aplicación. La actuación del conmutador se requiere en varios elementos de la red, NT2 ("Network Terminal"), LEX ("Local Exchange") y TEX ("Transit Exchange") siendo la dimensión la

principal diferencia. La estructura de conmutador seleccionada ha de poder cumplir correctamente su función en cualquiera de dichos elementos.

Distribución de la carga. Entre los diversos tipos de tráfico que debe soportar la IBCN los hay que requieren un tratamiento distinto que otros, el tráfico de señalización, por ejemplo, ha de someterse a las mínimas restricciones posibles, mientras que los servicios de distribución, por otro lado, implican la difusión del tráfico a varias salidas a la vez. La facilidad de la estructura del conmutador para permitir el control de la distribución del tráfico es otro punto a su favor.

Tratamiento de cabeceras. El deterioro de las cabeceras de las celdas, a diferencia de los errores en el campo de información, comporta efectos secundarios que pueden afectar al propio conmutador. Ejemplo: paquetes extraviados en su interior. Además, en algunas estructuras es necesario realizar alguna forma de traducción de la cabecera ATM para adaptarla al propio funcionamiento del conmutador.

Fiabilidad. El conmutador debería mantenerse en un cierto grado de funcionamiento aún cuando se produzca el fallo de uno o un número reducido de sus componentes.

Modularidad. Es un requisito muy ligado a los conceptos de expandibilidad y mantenimiento. Un diseño modular de los conmutadores permite las tareas de mantenimiento o ampliación sin necesidad de interrumpir el servicio.

Asequibilidad tecnológica. Este es otro de los aspectos más decisivos en la selección de la estructura del conmutador. La posibilidad de un diseño VLSI es clave para conjugar alta velocidad de conmutación, bajo consumo y asequibilidad económica.

Estructura del Conmutador [SOL90]

Cuando se habla de conmutador, en general nos referimos a aquel dispositivo capaz de conducir el tráfico de una cualquiera de sus entradas a una/varias cualquiera de sus salidas; sin embargo es posible afinar un poco más y distinguir entre elemento básico de conmutación -conmutador de reducidas dimensiones que puede ser integrado en una sola pastilla- y bloque de conmutación -formado por un determinado número de elementos básicos interconectados a fin de aumentar su capacidad-. Así cuando hablamos de estructura nos podemos referir a la estructura del elemento básico de conmutación o, también, al tipo de interconexión que da lugar a un bloque de conmutación.

Con respecto a la estructura del elemento básico se están barajando en la actualidad una serie de opciones [COS88] de las cuales vamos a comentar cinco. De estas, cuatro de ellas están inspiradas en una de las fórmulas de acceso múltiple al canal que

se utilizan en las redes de area local que es la de canal ranurado ("slotted bus/ring"), que es una forma más flexible del multiple acceso por división del tiempo. Las diferencias entre ellas las introduce la topologia y las posibles variantes de cada una, el tipo de arbitraje. La otra adopta un esquema de funcionamiento similar al "store and forward" típico de las grandes redes de conmutación de paquetes.

*El bus TDM. Se trata, básicamente, de N ports de entrada y M de salida con acceso a un mismo bus de alta velocidad ranurado a la duración de una celda; los ports de entrada cuando tienen celdas en espera las van colocando una a una en la primera ranura libre que encuentran, y los ports de salida procesan las cabeceras y van vaciando las ranuras que contienen las celdas a las que ellos deben dar curso.

*La matriz de buses ranurados. Es una extensión de la estructura anterior. Puede considerarse como un conmutador espacial ("crossbar") con elementos de proceso en los puntos de cruce. Está formada por un conjunto de buses ranurados, de los cuales N son de entrada (IB) y M de salida (OB), dispuestos de manera que los N de entrada están entrecruzados con los M de salida. Los elementos de los puntos de cruce antes citados, realizan las funciones de almacenamiento y proceso que en el bus TDM realizaban los ports de entrada y salida por separado.

Obsérvese que tanto en el bus TDM como en los buses de salida de la matriz de buses, el elemento de control puede ser un generador de ranuras vacías, sin más; o puede incorporar algún algoritmo de asignación previa de las ranuras a alguna de las colas en espera. El tipo de algoritmo utilizado puede mejorar el comportamiento del conmutador y facilita el arbitraje de prioridades.

*Anillo ranurado. Simplemente el cerrar sobre si mismo el bus TDM proporciona esta otra estructura. Los conmutadores basados en una topología en anillo podrían utilizar, también, la política del paso de testigo ("token passing"), pero para esta aplicación la de canal ranurado da mejores resultados. Se pueden realizar dos posibles configuraciones basadas en esta estructura: la de anillo único y la superposición de anillos formando un volumen toroidal, donde no se requiere que el port de entrada y el de salida pertenezcan al mismo anillo. Esta última configuración supone una mejora del "throughput".

*Memoria común. El esquema de conmutador temporal trabajando asincrónicamente, como filosofía, es aplicable a cualquier estructura de conmutador ATM. Sin embargo, la estructura en memoria común intenta reproducir de manera directa este esquema de funcionamiento. Como característica importante vale la pena destacar la optimización de memoria que, respecto a otras, se consigue con esta estructura.

*Redes de interconexión. Este tipo de estructuras pueden utilizarse para conmutación de paquetes, para conmutación de circuitos y, incluso, en modos híbridos. Consiste en una serie de nodos unidos por un determinado número de enlaces (no todos con todos) que ofrece una o varias alternativas para establecer un camino físico entre dos puntos terminales cualesquiera.

El tipo de redes de interconexión que se están experimentando para ATM son las redes de interconexión multietapa (MIN, "Multistage Interconnection Networks"). Dentro de este grupo de redes existen dos posibles estructuras: las que entre cada par de puntos terminales permiten un único camino ("Single Path MINs") y las que permiten más de uno ("Multipath MINs"), y varias modalidades para cada una de ellas.

Las redes "Delta" son una extensión de las redes rectangulares cuya principal particularidad es la utilización en cada nodo de un dígito de control (o encaminamiento) para decidir el enlace de salida de la celda en curso. Las redes rectangulares se caracterizan por dos cosas: sólo hay interconexiones entre nodos de etapas adyacentes y todos los nodos son del mismo tamaño (nxn). Así un conmutador de N entradas y N salidas (NxN) se compondrá de $S = \log_2 n$ etapas y cada etapa será de N/n nodos. Ello hace que cada salida pueda codificarse con un número de dígitos igual al número de etapas del conmutador y que en las redes "Delta" para el encaminamiento sólo se requiera examinar un bit por etapa.

Este tipo de estructuras no sólo puede utilizarse para el diseño del elemento básico sino también, como filosofía, para la interconexión de elementos básicos de cualquier otro tipo en la formación del bloque de conmutación.

Conclusión

Ninguna de estas estructuras es de una forma absoluta la mejor solución, ni a primera vista responde mejor que otra a los criterios mencionados. Todas tienen sus ventajas y sus inconvenientes, y sería necesario un análisis mucho más profundo para poderlas comparar con detalle. En la actualidad el tema de la selección de la estructura óptima del conmutador no está, todavía, totalmente resuelto, y se están dedicando gran cantidad de esfuerzos a realizar estudios exhaustivos en lo referente a la influencia de las características del tráfico y de la carga en el comportamiento del conmutador para las diversas estructuras, sobre todo en el sentido de buscar la que dé los mejores resultados en cuanto a retardo y pérdida de celdas.

Otro de los aspectos al que también se está prestando mucha atención es la búsqueda de la mejor solución tecnológicamente posible para la realización de las diversas propuestas que van surgiendo.

La conclusión mas importante es que, sea cual sea la constitución del conmutador elegida, en el enlace de salida habrá

un buffer [CAS89] el cual será objeto de estudio y representará la clave fundamental en el estudio del control de la congestión en redes ATM y fundamentalmente en el diseño de las funciones de Policía. Esta conclusión es básica para el estudio propuesto en esta tesis ya que nos define, como veremos mas adelante el concepto de congestión.

A4. Modelo arquitectónico

Un modelo funcional de referencia para la arquitectura de una red es una división conceptual de las funciones que deben ser llevadas a cabo para transportar la información. Es una herramienta útil cuando se analizan y comparan diferentes alternativas de arquitecturas de la red.

La B-ISDN se basa en los principios de la ISDN, aunque el trabajo de definición y estandarización está aun pendiente de ser acabado por el CCITT [ARM87].

En la figura A1, se da un modelo conceptual para la configuración de referencia de la B-ISDN consistente en grupos funcionales separados por los puntos de referencia R, Sb, Tb y Ub. Los grupos funcionales son configuraciones de equipos físicos, donde cada grupo funcional realiza funciones diferentes. Los distintos grupos funcionales que encontramos son los equipos terminales, TE; adaptadores de terminal, TA; y terminadores de red, NT.

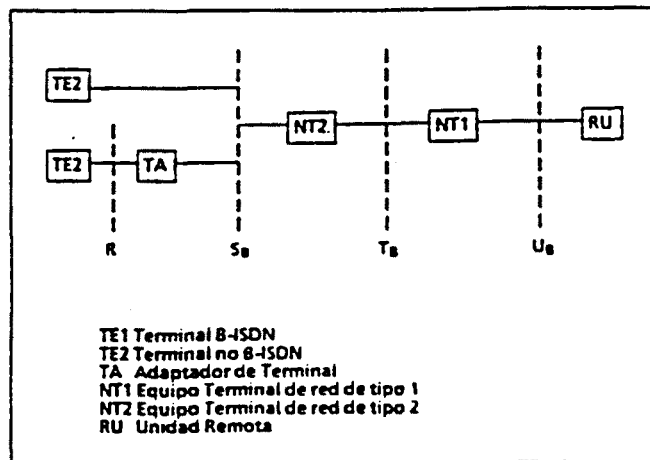


Figura A1. Arquitectura de referencia

Los puntos de referencia separan grupos funcionales y pueden ser vistos como unidades de interfaz físico que definen los protocolos correspondientes a los tres niveles bajos del modelo de referencia OSI. La estandarización de estos interfaces es un factor clave para el éxito en la implantación y desarrollo de la

red ya que es el punto de compatibilidad para equipos de fabricantes distintos. Un ejemplo de la importancia de la estandarización de los interfaces ha sido la norma X.25, que define el acceso a las redes públicas de conmutación de paquetes.

Los equipos terminales, TE, realizarán funciones que incluyen los tres niveles de ISO más bajos. Se pueden clasificar como TE1 y TE2. Pertenecen a este grupo dispositivos como los teléfonos digitales, los terminales de datos y los futuros terminales multimedia.

Las funciones de los TE1 seguirán las recomendaciones B-ISDN. En cambio, las funciones de los TE2 no, y deberán usarse con adaptadores de terminal (TA) para poderlos conectar a la red de banda ancha, ya que estos dispositivos funcionan con sus propios protocolos y no tienen interfaces B-ISDN. Algunos tipos de TE2 son: terminales de audio, de video, de ISDN y terminales X.25.

El punto de referencia R separa los TE2 de los adaptadores de terminal. Para cada tipo distinto de TE2 deberá definirse un correspondiente interfaz R.

El interfaz Sb, basado en principio en ATM, separa la terminación de red, NT, de los equipos terminales (en el caso de ser del tipo TE1), y de los adaptadores de terminal (en el caso de ser del tipo TE2).

La terminación de red, NT, puede dividirse en dos partes, NT1 y NT2. Esta separación permite aislar la instalación privada del abonado del bucle local de abonado, perteneciente a la red pública.

Las funciones del NT2 tradicionalmente se han asociado a las centrales digitales locales ("Integrated Services Private Branch eXchange"), y a controladores de terminal. Como ya se verá en el apartado referente al acceso de usuario, se prevé que estas funciones podrán ser llevadas a cabo por redes locales de alta velocidad de fibra óptica.

De entre las funciones que el NT2 realizará cabe citar: extracción del reloj y sincronismo de celda, identificación del circuito virtual, detección y corrección de errores en el identificador de circuito virtual (VCI), inserción y eliminación de celdas vacías, codificación de línea, y el control de acceso al medio, dependiente de la topología de la conexión de los equipos terminales. Además realizará otras funciones como son: establecimiento de conexiones punto a punto, multipunto y de difusión; traducción de las cabeceras de las celdas, conmutación de celdas, empaquetado y desempaquetado de las celdas de niveles superiores, numeración de celdas y detección de celdas perdidas.

El interfaz Tb separa los grupos funcionales NT2 y NT1. El

grupo funcional NT2 estará siempre presente excepto en el caso de que tengamos un terminal cuyo interfaz Sb coincida con el interfaz Tb.

El grupo funcional NT1 termina la línea de transmisión que viene de la central local de conmutación. Todos los usuarios deberán disponer de este grupo funcional ya que es el que proporciona al usuario el acceso a la red. Las funciones que realice han de ser lo más sencillas posible para que el costo del equipo sea reducido. De entre las funciones que realizará este grupo terminal, que sirve de interfaz eléctrico y/o óptico con el bucle local de abonado, tenemos: regeneración de la señal, sincronismo de bit, delimitación de celdas, detección de errores en las cabeceras y reconocimiento de circuito virtual.

Por último el interfaz Ub es la separación entre el NT y la central local de conmutación.

A4.1 Arquitectura de comunicaciones de la B-ISDN ATM

El modo de transferencia asíncrono ATM definido como estándar para el transporte de información en la red B-ISDN se puede ver como una evolución del modo de transferencia en conmutación de paquetes, con paquetes pequeños y de longitud fija, denominados celdas. La información a transmitir por un circuito virtual se organiza en estas celdas, las cuales se transmiten de acuerdo con el ritmo con que se genera la información; el equipo terminal es el que determina la velocidad de transferencia real en cada momento. La unidad de tiempo para la transmisión y la conmutación es el tiempo de transmisión de una celda.

En la fase de establecimiento de la conexión se asigna un número para cada circuito virtual que se incluirá en la cabecera de cada una de las celdas correspondientes al circuito virtual. Esta información en la cabecera es suficiente para realizar el encaminamiento dentro de la red ("label switching"). El ancho de banda del circuito virtual varía dinámicamente y puede adaptarse a cualquier tipo de tráfico y de servicio; ello implica que la carga de la red depende del conjunto de tráfico generado en cada instante de tiempo, y, por esto, es necesario disponer de capacidad de almacenamiento de celdas en los conmutadores de la red.

A4.2 Modelo de referencia para la ISDN.

El Modelo de Referencia para la interconexión de Sistemas Abiertos (OSI) es un concepto fundamental para modelar la arquitectura de la red. El hecho que esté aceptado mayoritariamente como una herramienta común de trabajo hace que sea natural adaptar el modelo de referencia a la B-ISDN. Por otra parte, como es evidente, algunas de las facilidades de la ISDN no estaban previstas en el modelo original ISO-OSI, ya que éste está

orientado a la transmisión de datos exclusivamente; ISDN ha de soportar otros servicios, como por ejemplo, el de telefonía. Algunas de estas facilidades son: la introducción de un nivel de adaptación para los servicios que no son de datos, y el mantenimiento de conexiones asociadas (por ejemplo, voz y vídeo para el videoteléfono).

Para la ISDN se ha definido un bloque de protocolos que se utiliza para describir el funcionamiento de los distintos elementos de la red: TE, TA, NT, LX y TX. Para poder soportar una señalización independiente de la información, con la posibilidad de activar servicios suplementarios durante la fase de transferencia de información, se precisa separar completamente la información de control (plano C) de la de usuario (plano U). La coordinación de las funciones de estos dos planos se realiza a través del plano de gestión (plano M). Esta división en planos permite distinguir las funciones a realizar por los protocolos y la relación entre las mismas dentro del bloque de protocolos:

- Plano U, para la información entre las aplicaciones de usuario y los protocolos asociados. Esta información se puede transmitir de forma transparente a través de la red o bien ésta puede incluir algún tipo de procesado. A parte de la información de usuario, cualquier otra información de control del enlace que no altere el estado de la conexión (por ejemplo, el control de flujo) pertenece a este plano.

- Plano C, para la información de control de la transferencia de información del plano U y los protocolos asociados. Toda la información relativa a la asignación / desasignación de recursos de la red pertenece a este plano.

- Plano M, para la gestión asociada a la transferencia de la información de control y de usuario. Los planos U y C son los que la soportan.

Cada plano puede estar formado por un subconjunto de los siete niveles de protocolos ISO-OSI, y en cada plano se pueden aplicar los principios de los niveles OSI: a) los niveles pueden estar vacíos (no se realiza ningún protocolo) en casos determinados; b) los servicios que proporciona un nivel vacío al nivel superior son exactamente los mismos que proporciona el nivel inferior a este nivel vacío; c) las primitivas del nivel superior se traducen directamente a primitivas del nivel inferior; y d) los protocolos de cada plano son independientes entre sí. Los protocolos del plano de usuario se utilizan para transferir información entre aplicaciones de usuario; los protocolos del plano de control se utilizan para transferir información entre los elementos de control. Una aplicación de uno de estos elementos de control puede utilizar funciones del plano de control (por ejemplo, para establecer una conexión del plano de usuario).

A4.3 Modelo de referencia para la B-ISDN

El modelo de referencia, tanto para la arquitectura de la red como para los protocolos de la misma, se basa en el modelo definido para la ISDN. ATM proporciona un servicio portador universal común para todo tipo de teleservicios. Sin embargo, para el control y la gestión de la red es necesaria la señalización y otros protocolos que se pueden desarrollar encima del servicio portador ATM.

A continuación se describen los tres niveles bajos OSI para la B-ISDN. El nivel 4 (transporte) y los niveles superiores (niveles orientados a la aplicación) corresponden a protocolos extremo - extremo entre TEs remotos y son propios de cada servicio.

a) Nivel 1. El nivel 1 del modelo OSI se subdivide en cuatro subniveles: 1A físico, 1B control de acceso al medio, 1C (ATM) que se encarga de la gestión y de la transmisión de las celdas ATM, y 1D (adaptación) que se encarga de adaptar el entorno de transmisión ATM a los requerimientos de los distintos servicios en entornos no-ATM. Los niveles 1A y 1B dependen del medio de transmisión y normalmente se agrupan en un subnivel PMD ("Physical Medium Dependent"). Aquí se explican por separado para facilitar la descripción de los interfaces multipunto.

- Subnivel 1A. Los interfaces eléctricos y/o ópticos, la sincronización de los bits, los equipos transmisores y receptores, la codificación y decodificación de canal, la modulación y demodulación, la ecualización y la supresión de eco son los aspectos principales de este subnivel. Las funciones de la nueva jerarquía de transmisión digital SDH, aprobada recientemente por el CCITT e inspirada en SONET, se incluiría en este subnivel. En resumen, es el responsable de la transmisión de las unidades de datos, sin ninguna otra función adicional; proporciona un servicio de transmisión de bits a una velocidad de transmisión constante al subnivel 1B. No distingue entre la información de usuario ni de control; es un subnivel común para los protocolos del plano de usuario y del plano de control.

- Subnivel 1B. Cuando más de un sistema está conectado al medio de transmisión es necesario solventar la compartición de este recurso. El subnivel MAC puede ser considerado como un conjunto de funciones que se encargan de facilitar el acceso al medio de transmisión común, de forma análoga a como se realiza en las LANs, donde parte de las funciones MAC corresponden al nivel 1 (por ejemplo, la sincronización de la unidad de datos MAC y la detección de posibles colisiones) y el resto al nivel 2. Proporciona servicio tanto al plano de usuario como al de control.

- Subnivel 1C. Este subnivel engloba todas aquellas funciones que se derivan exclusivamente de la técnica de

transmisión ATM y es independiente del medio de transmisión y de la topología subyacente. Se encarga de la multiplexación de las celdas ATM y ofrece al nivel 2 una velocidad de transmisión variable (en contraste con el subnivel 1A). La cabecera de las celdas ATM es tratada sólo en este subnivel.

Un circuito virtual es una conexión entre dos entidades 1C. Este subnivel permite multiplexar distintas conexiones ya que la cabecera de cada celda indica a qué circuito virtual pertenece. Por otra parte, no existe ninguna diferencia en la gestión de la información de control y la de usuario.

Las funciones principales de este subnivel son: la transferencia de la información a través de un circuito virtual, la identificación de los circuitos virtuales, el control de errores de las cabeceras de las celdas, la sincronización y la delimitación de las celdas, la multiplexación y demultiplexación en función de las cabeceras, y el empaquetado y desempaquetado de la información en celdas.

- Subnivel 1D. Este subnivel de adaptación depende del servicio, y, en este aspecto, puede considerarse que sus funciones corresponden conceptualmente a los niveles superiores OSI. En las redes convencionales el servicio portador engloba los tres niveles bajos OSI, sin embargo, el servicio portador ATM se basa en celdas ATM y abarca solamente los subniveles PMD y ATM.

Las funciones de este subnivel de adaptación se aplican al campo de información de las celdas ATM, y básicamente soportan conexiones entre interfaces ATM e interfaces no-ATM. Las funciones principales son: detección de celdas perdidas, detección de celdas desordenadas, detección de celdas parcialmente llenas, adaptación a servicios de velocidad de transmisión constante y adaptación a servicios en conmutación de paquetes.

Entre las funciones incluídas en la adaptación a la velocidad de transmisión constante destacan: el ensamblado y desensamblado de celdas, la compensación por el retardo variable que introduce la red ATM y la sincronización.

En realidad, este subnivel se divide en tantos subniveles paralelos como adaptaciones a entornos no-ATM se necesiten. En la figura se muestra un ejemplo donde el nivel de adaptación incluye servicios STM ("Constant Bitrate Oriented"), conmutación de paquetes ("Packet Switching"), servicios orientados a la conexión ("Connection Oriented") y servicios no orientados a la conexión ("Connectionless Oriented").

b) Nivel 2. Este nivel se encarga de mejorar el servicio que proporciona el nivel 1, si ello es necesario, para obtener una calidad de servicio (QoS) determinada. Las funciones de este nivel son distintas para los planos U y C .

Para el plano de usuario este nivel es completamente transparente, ya que se prevé una gran fiabilidad y una tasa de errores muy pequeña. Además, un buen diseño en la dimensión de los "buffers" y un control de la carga adecuado pueden proporcionar una tasa muy baja pérdida de celdas. Por otro lado, existen servicios que aunque requieren un gran volumen de transferencia de información toleran un cierto porcentaje de errores y no admiten la aplicación del control de flujo porque dicha información tiene un tiempo de vida muy escaso (por ejemplo, la difusión de televisión). Sin embargo, algunas propuestas incluyen un protocolo de nivel 2 en el plano de usuario para los servicios de datos, ya que no admiten pérdida de información, aunque el consenso general es dejar las funciones de control de flujo y de errores al nivel de transporte OSI, es decir, como funciones extremo - extremo entre los terminales.

En el plano de control el protocolo incluye la detección/corrección de errores y el control de flujo. Su misión es controlar las situaciones de sobrecarga de la red, la pérdida de celdas y los problemas derivados de las comunicaciones móviles. Este protocolo se basa en el ISDN LAP-D (I.441), y es esencial que sea compatible con éste.

c) Nivel 3. El nivel de red gestiona el encaminamiento de las celdas y proporciona las conexiones de la red necesarias. Las funciones para los planos U y C son distintas.

La información de usuario es transparente para el nivel de red; se transmite por el circuito virtual que se ha asignado en la fase de establecimiento. Los protocolos para el plano de usuario están todavía en estudio.

En el plano de control se incluyen las facilidades asociadas al establecimiento y liberación del circuito virtual. Se prevé que el protocolo de control evolucione a partir del de la ISDN y que sea compatible con éste (I.451).

La información de usuario se organiza en celdas en el nivel de transporte (nivel 4) ya que los niveles 2 y 3 son transparentes. Estas celdas se transmiten de forma transparente hasta que llegan al otro extremo al nivel de transporte.

La información del plano de control se restringe a la señalización. Esta información de control se genera en el nivel 3 en paquetes o mensajes y se pasa al nivel 2, donde se organiza en tramas. Las tramas de nivel 2 se transforman en celdas y se transmiten por un circuito virtual asociado a la gestión y control de la red.

Para finalizar con la descripción del modelo de referencia para la B-ISDN es necesario comentar brevemente el interfaz virtual entre las funciones de los planos U y C y el plano M.

Algunas funciones de gestión de red, como la verificación de la compatibilidad del servicio solicitado, QOS, monitorización, tarificación, operación y mantenimiento, requieren la activación del nivel 1 (plano M) para procesar los mensajes de nivel 3 (plano M) antes de tener establecida la conexión. Este flujo de información entre los interfaces M y U/C se realiza a través de un interfaz virtual que depende de la implementación, y, por ello, no está sujeto a estandarización.

A4.4 Modelo arquitectónico y ATM

El modelo de referencia para la interconexión de sistemas abiertos establece 7 niveles: físico, enlace de datos, red, transporte, sesión, presentación y aplicación. Los tres primeros corresponden a los denominados servicios portadores (suministrados por la red). La definición de los teleservicios de banda ancha ATM abarca los 7 niveles, ya que en los tres niveles bajos también hay funciones dependientes del servicio.

La transmisión y conmutación ATM corresponden al nivel 1 y a las funciones básicas del nivel 2 de dicho modelo. El nivel ATM definido por el CCITT está situado justo encima del nivel dependiente del medio físico, responsable de la transmisión de los bits. El nivel ATM es común a todos los servicios y sus funciones corresponden a las de la cabecera de las celdas ATM [HAN89].

Así, la frontera entre la cabecera y el campo de información de las celdas corresponde a la frontera entre el nivel ATM y los niveles superiores.

Las funciones del nivel de adaptación dependen del teleservicio. Su misión principal es permitir el acceso al nivel ATM de la información de los niveles superiores, ya sean del propio servicio (protocolos de los niveles superiores) o bien sea de control (por ejemplo, el control del enlace; protocolo HDLC LAPD del nivel 2 del modelo OSI). Hay que tener en cuenta que en el campo de información de las celdas va la información de los protocolos de control y la información de los protocolos de los niveles superiores OSI del teleservicio.

Desde el punto de vista del usuario la red de banda ancha proporciona continuidad digital extremo a extremo, es decir, como en el caso de la conmutación de circuitos. Lo que sucede es que internamente se utiliza ATM, que es conmutación de celdas (paquetes pequeños). A diferencia de la red en conmutación de paquetes X25 donde el interface entre dos elementos de la red está definido por los tres niveles bajos OSI, en ATM no es así, sólo interviene el nivel ATM en cada enlace punto a punto. El nivel de adaptación, así como el nivel de enlace (HDLC LAPD) y el de red se encuentran situados en los terminales, no en los elementos internos de la red. Las funciones de adaptación al servicio, control del enlace, control de errores y control del

flujo, así como el protocolo de acceso a la red, se realizan extremo a extremo.

A4.5 El Acceso de usuario

En este apartado vamos a analizar qué tipo de arquitectura deberá tener el acceso de usuario o "Subscriber Premises Network (SPN)". La red local de abonado (SPN) es la parte de la red de telecomunicación que se ubica en casa del abonado del NT1. Por tanto, desde un punto de vista funcional, el punto de referencia Tb es el interfaz entre la SPN y la red pública B-ISDN. La SPN incluye las funciones del NT2, caso de que existan, el punto de referencia Sb y la instalación interior, conectando todos los terminales de abonado.

Para estudiar la arquitectura para la SPN es indispensable identificar y evaluar sus requisitos. Dichos requisitos van a ser dependientes del entorno: número de usuarios, limitaciones geográficas y físicas, servicios requeridos, etc.

A) Entornos de usuario

Podemos diferenciar dos entornos:[BYR89]

a) Entorno residencial, donde usualmente grupos reducidos de personas utiliza servicios de banda ancha, básicamente de ocio. También se incluyen operaciones empresariales de poco volumen. El interfaz U puede ser asimétrico con velocidades del orden de 150 Mbps hacia la red y de 600 Mbps hacia el usuario. En este entorno el terminal más usual será el televisor de alta definición (HDTV) y, quizá, el videoteléfono de banda estrecha.

b) Entorno empresarial, en donde usualmente los servicios son de diálogo. Las velocidades requeridas son del orden de 300 Mbps hasta 1 Gbps. Conectados a dicha red de abonado (SPN) encontramos los denominados terminales multimedia que permiten la integración de diferentes servicios y tipos de información, con lo que el abonado tendrá acceso a diversas aplicaciones con información en diversos formatos: voz, datos e imagen, y a los videtotéfonos, inicialmente de BE y luego de BA. También se prevé que a dicha red de abonado pueda conectarse directamente una red local (LAN) o metropolitana (MAN) convencional, que permitirían una mayor flexibilidad en la distribución de los terminales.

B) Requisitos del acceso de usuario

Los requisitos son, por un lado, el tipo de servicio requerido en un entorno determinado, y las consecuencias derivadas de tener que soportar dicho servicio (velocidad de transmisión, tipo de transferencia, retardo máximo, variación del retardo, probabilidad de error, eficiencia y memoria requerida). Por otro lado tenemos requisitos de tipo estructural, que

incluyen aspectos del tipo: flexibilidad, fiabilidad, comportamiento físico y operativo, y el coste [VOR88].

La flexibilidad nos indica la habilidad de la SPN para adaptarse frente a los cambios: adaptación a los cambios de tipo local, por ejemplo de cableado, flexibilidad al mover terminales y usuarios en el interior de la red, lo que propicia la creación de un interfaz universal, y la interconexión con otras redes, por ejemplo LANs de todo tipo.

La fiabilidad va a ser un factor muy importante, ya sea en aquellos casos en que numerosos usuarios pueden ser afectados, o en aquellos donde se deba poner especial atención para asegurar un buen funcionamiento (servicio de alarmas). Por todo ello se deberá evaluar la sensibilidad de la SPN hacia los errores, ya sean simples, de ráfagas, fallos del terminal, o causado por errores humanos.

El comportamiento físico trata todo lo concerniente al óptimo uso del medio físico. Incluye aspectos acerca de la topología y del medio utilizado. El comportamiento operativo, por otro lado, trata de la instalación y del mantenimiento. En el entorno del terminal, ambos factores han de ser sencillos, de forma que los cambios y reconfiguraciones (flexibilidad) puedan realizarse rápidamente y a bajo coste.

Por último el coste va a ser, como es habitual, el requisito fundamental. En entornos residenciales, un coste bajo va a ser esencial, mientras que en entornos de empresa el coste inicial debe ser razonable, pero al mismo tiempo el coste incremental debe ser más bien bajo para permitir incrementos modulares de acuerdo con las necesidades que vayan surgiendo.

Todos estos requisitos pueden ser acogidos por la SPN mediante un buen diseño. El utilizar ATM en la SPN es intrínsecamente ventajoso. La red es independiente del servicio, siendo ATM una técnica directa y flexible diseñada para soportar todos los servicios. La velocidad de transmisión requerida por cada servicio es independiente de la velocidad de transmisión de la red, haciendo flexible la asignación del ancho de banda.

Una factor muy importante es la forma en que van a evolucionar la redes existentes hacia la SPN. Actualmente podemos encontrar desde un par de hilos de cobre, o un acceso con un coaxial de TV hasta una red local, cada una concebida con una tecnología diferente, y con terminales de usuario totalmente distintos. Además, la evolución que se realizará en el entorno residencial va a ser totalmente distinta a la realizada en el entorno empresarial. Por ello, el punto más importante en este contexto es la necesidad de tener un interfaz de banda ancha uniforme, e independiente del medio, para asegurar la portabilidad de los terminales, disponiéndose de adaptadores de terminal que permitan conectar terminales no estándares cuando

sea necesario.

Es en el acceso de usuario en donde se van a poder realizar acciones tendentes a proteger la red en el control de la congestión y mas concretamente en las funciones de Policía.

A5. Redes de Area Metropolitana

Como comentábamos antes, actualmente la tecnología permite ya disponer de redes locales de alta velocidad, por lo que aunque la B-ISDN se planifica hacia el año 2000, mucho antes vamos a tener disponibles redes locales y metropolitanas de alta velocidad. Es por ello que estas merecen un punto de atención.

Una MAN ("Metropolitan Area Network") puede ser definida como una red estándar, de alta velocidad para voz, datos y vídeo que permite conexiones LAN/LAN o LAN/WAN para sistemas de comunicaciones públicos o privados diversos en un área metropolitana [SAND91].

Actualmente existen dos tecnologías que son consideradas como candidatas a ser estándar de las MAN: el FDDI ("Fiber Distributed Queued Data Interface") y la IEEE 802.6, conocida formalmente como del DQDB ("Distributed Queued Dual Bus").

El FDDI es una red local en anillo con un método de acceso al canal por paso de testigo ("Token Ring") que funciona sobre fibra óptica a alta velocidad. El funcionamiento básico es el siguiente: existe un patrón de bits, denominado testigo, viajando por el anillo y dando la posibilidad de enviar datos a la estación que lo posea. Dicha estación puede dejar el testigo en circulación inmediatamente, o al acabar de enviar una o varias tramas de información. El FDDI puede trabajar directamente como red local o bien como soporte e interconexión de redes locales convencionales. Para poder soportar voz digitalizada (canales MIC) ha debido de modificarse, creando el FDDI-II, ya que el retardo introducido por la red no es constante porque depende del tráfico de las otras estaciones. Actualmente ya existen interfaces FDDI trabajando a 100 Mbps sobre fibras multimodo utilizando LEDs como excitadores de la fibra. Los formatos de las tramas son muy parecidos a los establecidos por la norma IEEE 802.5 ("Token Ring" convencional) [TAN88].

Al mismo tiempo, la empresa australiana QPSX conjuntamente con Telecom Australia y la universidad de Western Australia, ha presentado la propuesta del DQDB [VAL89], [WAL89]. Su estructura física es de dos anillos, aunque lógicamente se comportan como dos buses. Existe una unidad central que no repite los datos que le entran por las dos direcciones, de esta forma se elimina la necesidad de vaciar el anillo. El hecho de tener siempre una apertura en el anillo le ofrece una tolerancia a fallos importante, ya que en caso que se corte el cable, o que una estación interrumpa el servicio sin poder solucionarlo mediante

relés dispuestos para ello, entonces la apertura lógica puede ser trasladada a la zona dañada.

La segunda aportación del DQDB es el "scheduling". Disponemos de dos buses sobre los que realizamos una única cola distribuida que se comporte como una cola sencilla. El mecanismo de reserva se realiza enviando reservas por un bus y transmitiendo por el otro. Cada estación dispone de un par de contadores/descontadores, uno para cada dirección, y el acceso se basa en un mecanismo de reserva del bus. Bajo condiciones de tráfico bajo, se comporta como un bus CSMA/CD, mientras que para tráfico alto se asemeja al Token Ring. DQDB utiliza una estructura de trama STM, pero conceptualmente es ATM; sólo ocupan ancho de banda aquellas estaciones que tienen información para transmitir. Por ello el DQDB es un firme candidato para las MANs.

La importancia de las MAN viene dada por la estrategia que están siguiendo todas las casas comerciales [MOR91] en el desarrollo hacia las redes ATM a través de las redes MAN, en donde se definen ya modelos de gestión de red que luego serán aplicables a la IBCN.

Otros autores [WAL91] consideran que las redes privadas virtuales basadas en conmutadores ATM pueden ser, desde un punto de vista realista, el primer paso hacia la IBCN con bajo coste. El concepto de Red virtual privada es independiente de la arquitectura, y solo depende de su funcionalidad. Técnicas como el "frame relay" o protocolos de nivel 2 de X.25 a alta velocidad y sobre circuitos punto a punto puede ser otro de los caminos hacia donde se dirigen las tendencias, o redes especiales como PLANET [CID91] diseñadas para soluciones concretas. La demanda del mercado se inclina hacia estas soluciones que en general se denominan Redes Corporativas [SANA91].

CONCLUSIONES Parte A

En esta parte se ha hecho un estudio y un análisis sobre la evolución de las redes de telecomunicaciones hacia una red única denominada IBCN, y cuáles van a ser los pasos necesarios para su realización.

Se han estudiado las tecnologías mas sobresalientes en los distintos campos de transmisión y conmutación que se van a convertir en básicas y se ha desarrollado el modelo arquitectónico que define su estructura.

El análisis de esta estructura es la que nos lleva al planteamiento del problema del control de la congestión que se puede producir en la red al atender la misma a una gran diversidad de servicios a cualquier velocidad de transmisión y utilizar la técnica de conmutación de celdas (ATM).

Esta técnica de conmutación ATM nos va a condicionar el funcionamiento de toda la red en los aspectos referentes al control de la congestión, por el carácter eminentemente asíncrono de aparición de los paquetes de información y su tratamiento "store and forward" a alta velocidad.

En la elección del método tecnológico para el conmutador todavía no existe uniformidad de criterios, ahora bien en cualquier caso existirá un buffer de salida del conmutador que es donde se podrá producir la congestión y que será objeto de estudio de esta tesis.

Las redes de área metropolitana y redes del tipo "frame relay" solucionan el control de la congestión a través de métodos especiales de acceso al medio común o bien a través de protocolos especializados respectivamente. El problema surgirá al dar el paso siguiente e ir a redes ATM.

Los métodos tradicionalmente utilizados en redes de paquetes para controlar la congestión podrían ser una buena solución si se adaptaran a las altas velocidades con que trabajará la red ATM, pero puede que no sean éstas las mejores soluciones dado que dispondremos de medios de transmisión y conmutación altamente fiables con bajas tasas de errores, y aplicar en estos casos métodos excesivamente redundantes perjudicarán su eficiencia.

Parte B. Consideraciones previas en el estudio del control de la congestión.

B1. Arquitectura

Para el estudio del control de la congestión será necesario tener en cuenta aquellos aspectos fundamentales de la arquitectura de la red que influirán en su definición.

B1.1 Tráfico

Las conexiones que habrá de soportar la B-ISDN serán de dos tipos: fuentes de velocidad fija, como algunas transmisiones de datos, y de velocidad variable o a ráfagas como, típicamente la transmisión de audio y vídeo. La que puede proporcionar más problemas y que debe ser objeto de mayor cuidado será la de tráfico de ráfagas por su comportamiento estocástico complejo, con funciones de distribución de probabilidad de difícil tratamiento analíticamente. Por otro lado el tráfico a ráfagas también nos generará una incertidumbre importante sobre la posible ocupación de los "buffers" en los distintos nodos de conmutación.

B1.2 Conexión virtual

En una red de conmutación de paquetes o de celdas los circuitos se establecen de una manera lógica por la formación de canales multiplexados en el tiempo en los sistemas de transmisión entre nodos. El conjunto global de canales lógicos entre los dos terminales extremos configuran un circuito virtual.

Son las propias celdas las que llevan información del canal lógico al que pertenecen y que posibilita que el sistema de control del conmutador ATM asigne el circuito virtual correspondiente que queda predeterminado para una ruta después del procedimiento de establecimiento de la llamada.

Es por tanto la conexión virtual el elemento primordial al considerar la asignación de recursos.

Un camino virtual "Virtual Path" es el conjunto de circuitos virtuales que comparten la misma ruta extremo a extremo en un sentido a través de la red y que será tratado como un único circuito virtual. El control de la congestión puede ser estudiado siguiendo las técnicas del virtual path y reserva de recursos. Aunque este tema está bastante estudiado [BUR91] [KEN91], se han abierto nuevas líneas de investigación, como veremos mas adelante en el sentido de la reserva de recursos.

Una llamada "Call" será el conjunto de circuitos virtuales relacionados de tal forma que siguen la misma ruta extremo a extremo por la red en ambos sentidos. Por ejemplo una llamada telefónica deberá tener dos circuitos virtuales uno en cada sentido, o una llamada de videoteléfono podrá tener cuatro circuitos virtuales extremo a extremo en ambos sentidos dos a dos, uno para audio y otro para video.

Se resalta que en un camino virtual los circuitos virtuales no tienen por qué estar tan íntimamente relacionados como en una llamada.

B1.3 Protocolos

Dadas las características de transmisión de la B-ISDN, basados en fibras ópticas con una tasa de error muy baja, y dado que las características de funcionamiento de los sistemas de conmutación ATM requieren reducir al máximo el tiempo de tránsito de las celdas por la red, los protocolos de funcionamiento no dispondrán de control de flujo y de errores a niveles bajos de enlace (nivel dos) y de red (nivel tres), realizándose estos controles a partir del nivel de transporte (nivel cuatro), delegando tal responsabilidad a los terminales con un control extremo a extremo.

Las funciones de control de red deberán entonces actuar sobre el nivel físico (nivel uno) en sus subniveles de dependencia del medio físico PMD ("Physical Medium Dependent") y de modo asíncrono de transferencia ("ATM").

En definitiva, la consecuencia del tipo de funcionamiento de la B-ISDN, basada en la conmutación de paquetes y circuitos virtuales con ausencia del control interno de flujo y de errores, será la posibilidad de pérdida de celdas, la existencia de retardos, y la aparición de congestión en la red, siendo necesario la utilización de nuevas fórmulas de gestión de red distintas respecto a la X.25 utilizada convencionalmente en redes de conmutación de paquetes.

En lo que se refiere a la señalización, no se introducirán previsiblemente variaciones importantes respecto a la señalización por canal común CCITT número 7 que se aplica en la ISDN de banda estrecha. Eso si, utilizando las técnicas ATM.

B2. Parámetros del servicio

Considerando que la B-ISDN estará basada en un sistema de conmutación rápida de paquetes con asignación dinámica del ancho de banda utilizable por una conexión, existirán una serie de parámetros que nos caracterizarán el tipo de servicio soportado por la red.

De entre estos parámetros los más importantes son:

B2.1 Ancho de banda requerido

Probablemente es el parámetro principal, pudiéndose especificar en función de la velocidad de transmisión considerando sus tres aspectos: valor máximo, función de distribución y valor medio, ya que esta velocidad será una variable aleatoria.

El valor medio de la velocidad de transmisión será igual a la relación entre el número de celdas transferidas durante la conexión y la duración de esta conexión.

El valor máximo de esta velocidad marcará los períodos de alta actividad, será difícil de controlar y normalmente quedará definido por las características del equipo terminal.

Finalmente, es conveniente hacer referencia a la variación de la velocidad de transmisión de las celdas ("burstiness"). Se suele definir como la relación existente entre la velocidad máxima y la velocidad media de transmisión de celdas, siendo importante considerar también la longitud de las ráfagas para su cuantificación.

B2.2 Tiempo de transferencia

En segundo lugar consideraremos el tiempo de transferencia, que en este tipo de redes de conmutación no se mantiene constante y puede variar significativamente.

Las limitaciones del servicio en este sentido son:

. Retardo máximo tolerable, que es un factor muy importante en caso de acciones interactivas bidireccionales como puede ser una conversación telefónica, y no tan importante en transmisión de datos entre ordenadores.

Este retardo máximo nos dictará el límite inferior de la velocidad de transmisión en que puede ser transportada una celda por la red para un servicio determinado.

. La variación del retardo ("delay jitter") es un parámetro que deberá ser controlado especialmente para reducir al máximo las funciones de resincronización de los terminales remotos, como podrá ser el caso de la distribución de televisión.

En redes ATM, y dadas las características de transmisión es mas importante el efecto que sobre el retardo se produce en el enlace que en las colas de los buffers.

Si la velocidad de transmisión del enlace es de 600 Mbps, el tiempo de transmisión de una celda normalizada es de aproximadamente 0.7 microsegundos. Dada la velocidad de propagación de 5 microsegundos por Km., una celda tiene una longitud de aproximadamente 200 metros, lo que implica que en un enlace nacional, del orden de 1000 Km, hay del orden de 5000 celdas. Dado que se prevee que los buffers tengan una capacidad inferior a 64 celdas, podemos observar que el retraso en el enlace es muy superior al que se pueda producir en los buffers, aún en el caso peor, lo que nos condiciona a pensar que no consideraremos los retrasos que se puedan producir en las colas de los buffers de los nodos. Esto disminuye considerablemente la complejidad de las funciones de policía de nodo que suponen la aportación de esta tesis.

Respecto a la variación del retardo o "delay jitter" se debe considerar también su importancia relativa dependiendo de los servicios. Por ejemplo para las señales de video codificado que se utilizarán para las simulaciones en esta tesis tendremos los siguientes datos. Número de imágenes por segundo 50. El tiempo de imagen será entonces $T = 1/50$ segundos. El número de celdas por imagen N será el número de bits por imagen dividido por el número de bits por celda. Entonces el intervalo entre celdas D será T/N , y para los datos de nuestro codificador esto nos da un orden de magnitud de milisegundos. Por otro lado el tiempo de celda es de 0.7 microsegundos. Esto quiere decir que deberemos de hablar de miles de desplazamientos de celda para que el efecto jitter sea destacable. Por ello en esta tesis no se considerará el efecto "delay jitter" como parámetro determinante en el cálculo de la calidad de servicio, como se indica mas adelante, aunque esto no es óbice para que en otros casos se considere.

B2.3 Probabilidad de pérdida de las celdas.

Este parámetro estará íntimamente relacionado con las características físicas de los sistemas de transmisión (tasa de error de las fibras ópticas), con los sistemas de conmutación (reboseamiento de "buffers") y con los procedimientos de control de red aplicados.

Los valores considerados de probabilidad de pérdida de celdas extremo a extremo son los siguientes:

Telefonía	10E-03
Datos	10E-06
Señalización	10E-03
Videotelefonía	10E-08
Videodifusión	10E-08

En resumen, los propios servicios nos proporcionarán los parámetros que podremos usar para la Gestión de Red. Nos servirán para la asignación de recursos, el control de carga, el diseño de algoritmos de aceptación de conexiones, la intervención en una conexión cuando se exceden las características negociadas en la fase de establecimiento, y la gestión de las prioridades.

B2.4 Rafagueo.

El rafagueo ("Burstiness") es una característica del tráfico VBR y puede ser definido de diversas formas, y aunque no está consensuado [SOL91] la primera de las definiciones presentadas es la mas comunmente utilizada.

La existencia de multiplexores estadísticos en la red, hacen que el tráfico CBR se pueda presentar a los elementos de control de la congestión como tráfico VBR, por lo que en estas condiciones, todo el tráfico presente es de ráfagas.

Previamente se define como intensidad de tráfico A al inverso de la duración del intervalo entre celdas.

Las definiciones planteadas son las siguientes:

1. Relación entre los valores de pico y medio de la intensidad de tráfico.

$$\frac{A_{pic}}{A_{med}}$$

Esta expresión nos informa sobre la variación de velocidad media esperada, pero su defecto es que hay muchas distribuciones diferentes que pueden dar el mismo valor y no nos informa de la frecuencia de aparición del valor de pico.

2. Relación entre la desviación típica y la media de la intensidad de tráfico y el cuadrado de esta relación, denominado coeficiente de variación.

$$\frac{\sigma_A}{A_{med}} \text{ y } \frac{\sigma_A^2}{A_{med}^2}$$

Nos da una idea de la dispersión relativa de la intensidad de tráfico.

3. Relación entre el tiempo de actividad y la duración total de la secuencia de celdas. Esta relación nos indica la densidad

de actividad .

B3.Características

No todos los servicios se comportan de la misma forma en referencia a los parámetros indicados anteriormente. Utilizaremos dos indicadores distintos que nos reflejarán el comportamiento de la red frente a un servicio determinado: el grado y la calidad de servicio (GOS y QOS) [YOK89].

B3.1 Grado de servicio

Este es un indicador que nos determinará el número de recursos necesarios en una red para anticiparse a la demanda de tráfico y nos expresará el grado de congestión del sistema entendiendo por tal la condición en la que no es posible el establecimiento de una nueva conexión debido a la no disponibilidad de recursos [GEC89].

Se describe a partir de un determinado número de parámetros de ingeniería de tráfico que se usarán para medir y adecuar la planta de la red para unas condiciones especificadas. Un modo corriente de concretar estos parámetros es establecer la probabilidad de que un usuario sufra una espera determinada en la hora cargada de un día normal en el acceso a los recursos del sistema.

Es muy común especificar el Grado de servicio GOS ("Grade of service") en la hora cargada, o sea en el periodo de sesenta minutos consecutivos en un día en el cual existe una mayor utilización de los recursos (enlaces y "buffers").

Existe una relación directa entre Grado de Servicio y tráfico ofrecido, de tal forma que la fijación de uno condiciona al otro.

Las características de funcionamiento de la red que afectarán al GOS las podemos concentrar en:

. La diversidad de servicios que la B-ISDN será capaz de soportar.

. El comportamiento de la red en la transferencia de información que depende de las características del tráfico de llegada de celdas y de las posibilidades del medio físico.

. El comportamiento de la red en la transferencia de información que depende del método de aceptación y rechazo de nuevas conexiones.

Por lo tanto el Grado de Servicio habrá surgido de una medida de las estimaciones de la demanda de tráfico en los periodos de pico, de los modelos estadísticos de tráfico, y de la capacidad del interface de la red para monitorizar y controlar el flujo de celdas en la red.

B3.2 Calidad del servicio

Al no realizar el control de errores y de flujo en la red, ésta deberá estar diseñada y dimensionada para mantener una tasa de error y un retardo aceptable para todos los servicios.

La calidad del servicio se estudiará en la red considerando el posible deterioro que puede sufrir la información una vez está establecido el circuito virtual correspondiente. Consideraremos los aspectos de las pérdidas y los retrasos de celdas [TAK89].

Dado que la información irá contenida en celdas, el deterioro de la calidad del servicio puede ser debida a causas diversas, como por ejemplo:

. Los errores debidos a la tasa de error del medio físico que pueden provocar la pérdida de celdas o la alteración de información.

. Las pérdidas de celdas debido al rebosamiento de los "buffers", la actuación de las funciones de control de tráfico o al reencaminamiento equivocado de celdas en el interior de los conmutadores por cabeceras erróneas.

En la siguiente tabla podemos observar un ejemplo de limitaciones en la calidad de servicio.

Servicio	Retardo en ms.	Variación del retardo tms.	Tasa de pérdida de celdas
Voz(telefonía)	150-400	50	10E-03
Audio(Hi-Fi)	1000	100	10E-07
Video(CBO) 140Mbps	150-400	10	10E-11
Video VBR 140Mbps	150-400	10	10E-09
Datos 140Mbps	1000	10	10E-06

CBO ("Continuous Bit-rate Oriented")
VBR ("Variable Bit-Rate")

No todos los servicios tienen los mismos condicionantes y por lo tanto pueden aceptar distintos niveles de probabilidad de pérdida de celdas de bit en datos de usuario . Por ejemplo se pueden considerar aceptables tasas de error de $10E-11$ para distribución de TV, o bien tasas de error de $10E-3$ para telefonía, y puede haber aplicaciones que no acepten ningún tipo de error como la distribución de TV con compresión en la codificación (este es el caso de la reducción compleja de redundancias).

Respecto a la alteración de la información, deberá ser un tema muy cuidado para ciertas aplicaciones en tiempo real en las que no puede existir retransmisión, como es el caso de la distribución de TV o la telefonía. Pero puede haber aplicaciones que, en cierto modo, sea admisible al ser posible la retransmisión por los niveles superiores, como puede ser por ejemplo la comunicación de datos entre ordenadores. En este caso se verá afectado el rendimiento de la transmisión.

Hemos de considerar que un error en una cabecera de celda no sólo causa la pérdida de toda la celda sino que puede suponer un error en el encaminamiento y dirigirla a un terminal equivocado.

La probabilidad de error en los bits es especialmente importante en cuanto se refiere a celdas de sincronización. La pérdida de la misma puede suponer la pérdida de toda la secuencia de celdas hasta que la sincronización se restablezca.

Tampoco hay que olvidar en la pérdida de celdas el efecto debido al llenado y rebosamiento de los "buffers" de la ruta virtual establecida a través de los nodos ATM.

La gestión de red juega un papel predominante en el control de todos estos aspectos; el control de admisiones y las funciones de policía, que estudiaremos en la parte E, van a conseguir que este conjunto de anomalías no lleven a la red a una degradación de su funcionamiento superior al tolerable, a costa tanto del QOS de de las conexiones afectadas como del GOS de la red.

CONCLUSIONES Parte B

Previamente a analizar el control de la congestión en redes ATM se han estudiado aquellos parámetros que se deben de considerar en dicho análisis.

Un aspecto fundamental a considerar es el de mantener para cada usuario la calidad de servicio QOS que tenga contratada con la red que a su vez a sido diseñada para un grado de servicio determinado GOS.

Mantener esa QOS supondrá mantener la tasa de error, el retardo y la desviación de retardo dentro de unos límites prefijados.

Será muy difícil modificar el retardo máximo y la desviación del retardo ya que serán parámetros que dependerán de la configuración física de la red y de la carga respectivamente.

Si podremos actuar posiblemente de una forma mas contundente sobre la tasa de error.

Al ser la red ATM una red basada en circuitos virtuales, las actuaciones sobre el control de la congestión vendrán dadas en actuaciones sobre los VC o sobre conjuntos de ellos en forma de virtual path.

El rafagueo o "burstiness" será el parámetro fundamental de estudio para la evaluación de los sistemas de control de la congestión, dado que será él el que producirá mayor incertidumbre sobre los recursos necesarios para mantener una determinada calidad de servicio.

Este rafagueo no estará unicamente presente por las características del tráfico generado, sino además por la existencia de jitter debido a los multiplexores estadísticos de la red.

Parte C. Caracterización del tráfico.

La IBCN soportará diversos servicios, y por lo tanto diversos tipos de tráfico generado por ellos.

Al ser una red de conmutación de paquetes y con tráfico asíncrono, existirán diferencias entre el tráfico efectivamente generado por las fuentes y el tráfico que circulará por la red, debido al efecto Jitter que se produce en los multiplexores estadísticos de la red.

Pero independientemente de este efecto, que ya estudiaremos mas adelante, las fuentes podrán generar distintos tipos de tráfico.

C.1 Tipos de tráfico.

Las conexiones que habrá de soportar la IBCN serán de dos tipos:

a) CBR. ("Constant Bit Rate"). Fuentes de velocidad fija, como por ejemplo ciertas transmisiones de datos.

b) VBR. ("Variable Bit Rate"). Fuentes de velocidad variable o de ráfagas como las transmisiones de voz y audio, las interconexiones de redes de área local etc. [ROB91].

Las que pueden proporcionar mas problemas y que deben ser objeto de mayor cuidado son las VBR, por su comportamiento estocástico complejo, con funciones de distribución de probabilidad de difícil tratamiento analíticamente. Por otro lado, el tráfico a ráfagas también genera una incertidumbre importante sobre posible ocupación de los "buffers" en los distintos nodos de conmutación.

Estos tráficos serán variables aleatorias que deben ser definidas por sus parámetros mas indicativos, tales como velocidad media, velocidad de pico, duración de las ráfagas y factor de rafagueo.

El tráfico previsto que deberá cursar la IBCN será basicamente un tráfico de ráfagas [GER89] y con las proporciones que se indican en la siguiente tabla:

50 % tráfico telefónico	64 Kbps.
20 % video baja calidad	2 Mbps.
5 % video alta calidad	34 Mbps.
25 % comunicaciones datos	diversas velocidades

Estos tráficos pueden clasificarse en clases [CHE88] según sea su vulnerabilidad a tres parámetros como son el retraso, el bloqueo o congestión y la degradación (reducción velocidad de fuente, errores, pérdidas etc.).

Clase 1. Voz y video. Servicios "real-time" y persona a persona.

Clase 2. Datos interactivos, como por ejemplo el viedotex.

Clase 3. Datos batch.

En la figura C1 se puede observar la distribución de cada una de las clases en un sistema gráfico cartesiano de tres dimensiones y su posición respecto a los parámetros indicados anteriormente.

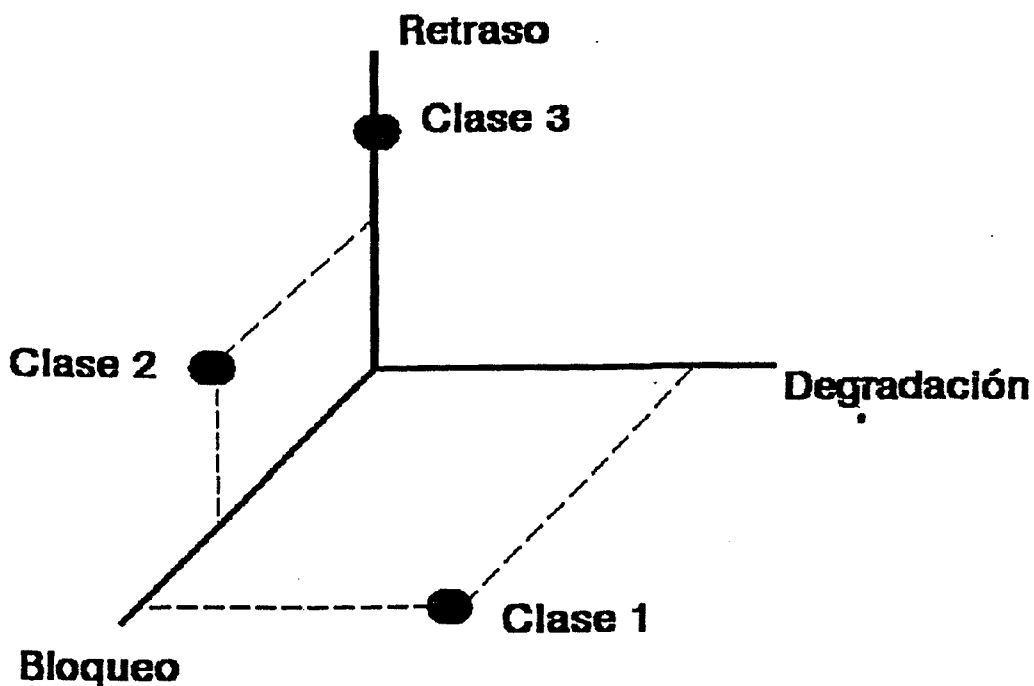


Figura C1. Clases de tráfico

Una clasificación del tráfico en función del rafagueo [RID89] vendrá dada en función de la anchura de ráfaga T_b y de la separación de ráfagas T_c .

En estas condiciones definimos tres tipos de tráfico:

- a) Random. T_b y T_c indefinidos
- b) Pulsante. T_b definible y T_c no definido (caso de las LAN`s).
- c) Cíclico. T_b y T_c definibles.

Esta última clasificación es muy interesante, ya que nos va a definir unos métodos de actuación en el control de la congestión distintos para cada caso, que como veremos en la parte correspondiente de esta tesis, es la tendencia con mas visos de llegar a ponerse en marcha (Parte F1.2).

Una clasificación general del tráfico presente en una red ATM está dada por [RACa90] y se describe a continuación:

Tipo tráfico	Servicios	Velocidad
CBR 1	Telefonía, fax, extracción datos	64 kbps.
CBR 2	videotelefonía (baja calidad)	128 Kbps.
CBR 3	videoconferencia, transferencia ficheros, fax color, sonido alta fidelidad	2 Mbps.
CBR 4	videocodecs	34 Mbps.
CBR 5	televisión standard	140 Mbps.
VBR 6	datos interactivos (baja velocidad)	64 Kbps.
VBR 7	videotelefonía (alta calidad) datos interactivos(media vel.) extracción imágenes	2 Mbps.
VBR 8	videoconferencia alta calidad datos interactivos(alta vel.) video (alta calidad) extracción imágenes movimiento interconexión LAN`s CAD/CAM	10 Mbps. 30 Mbps.
VBR 9	Televisión alta definición	140 Mbps.

Esta clasificación será muy útil para definir modelos de tráfico artificiales como se explicará a continuación dentro de esta parte, en el apartado C3.

C.2 Nivelización del tráfico

Antes de empezar a discutir el problema del control de la congestión en redes ATM, será conveniente examinar el proceso de generación de tráfico en redes ATM.

Veamos dos ejemplos, obtenidos de [HUI88] para estudiar el proceso de tráfico con fluctuación de la velocidad de transmisión.

Una estación gráfica produce una ráfaga de 10 Mbps por imagen, la cual se envía por ejemplo en $10E04$ paquetes de 100 bits cada uno en una línea multiplexada de 100 Mbps.

Asumimos que la ráfaga entera se envía a través del canal en 1 segundo, así que el peak bit rate de la estación es de 10 Mbps. con un paquete por cada 10 ranuras del enlace. Asumimos además que el proceso de llegada de celdas es de Poisson con una velocidad de 0.1 ráfagas por segundo. Por lo tanto, el tiempo esperado de interllegadas de ráfagas es de 10 segundos, y la velocidad media para la duración de una llamada es de 1Mbps. Asumimos entonces que el tiempo esperado de interllegadas de llamadas es de $10E04$ segundos, y que en cualquier caso una estación está en proceso de llamada con probabilidad de 0.1.

Este ejemplo nos indica que podemos estudiar el proceso de generación del tráfico en tres entornos temporales completamente distintos en cuanto se refiere al orden de magnitud. Los procesos que podamos aplicar para el control de congestión deberán ser distintos según el entorno temporal en el que nos movamos.

Otro ejemplo lo podemos encontrar en la transmisión de vídeo comprimido en movimiento. Suponemos que el terminal de video está en proceso de llamada con probabilidad 0.1, y un tiempo medio de retención de la llamada de $10E04$ segundos. Durante la llamada, la velocidad de transmisión es un proceso de variación continuo. Entonces, el tiempo de interllegada de paquetes esta dado por la velocidad del canal dividido por la velocidad instantánea del terminal.

En este caso de nuevo se puede apreciar la existencia de distintos niveles de generación de tráfico, que nos definen distintos tratamientos temporales. No es lo mismo perder un pixel, que una trama, que una imagen y todo ello dentro de sus margenes temporales correspondientes.

En la figura C2 podemos ver una representación gráfica del proceso multinivel explicado en el primer ejemplo.

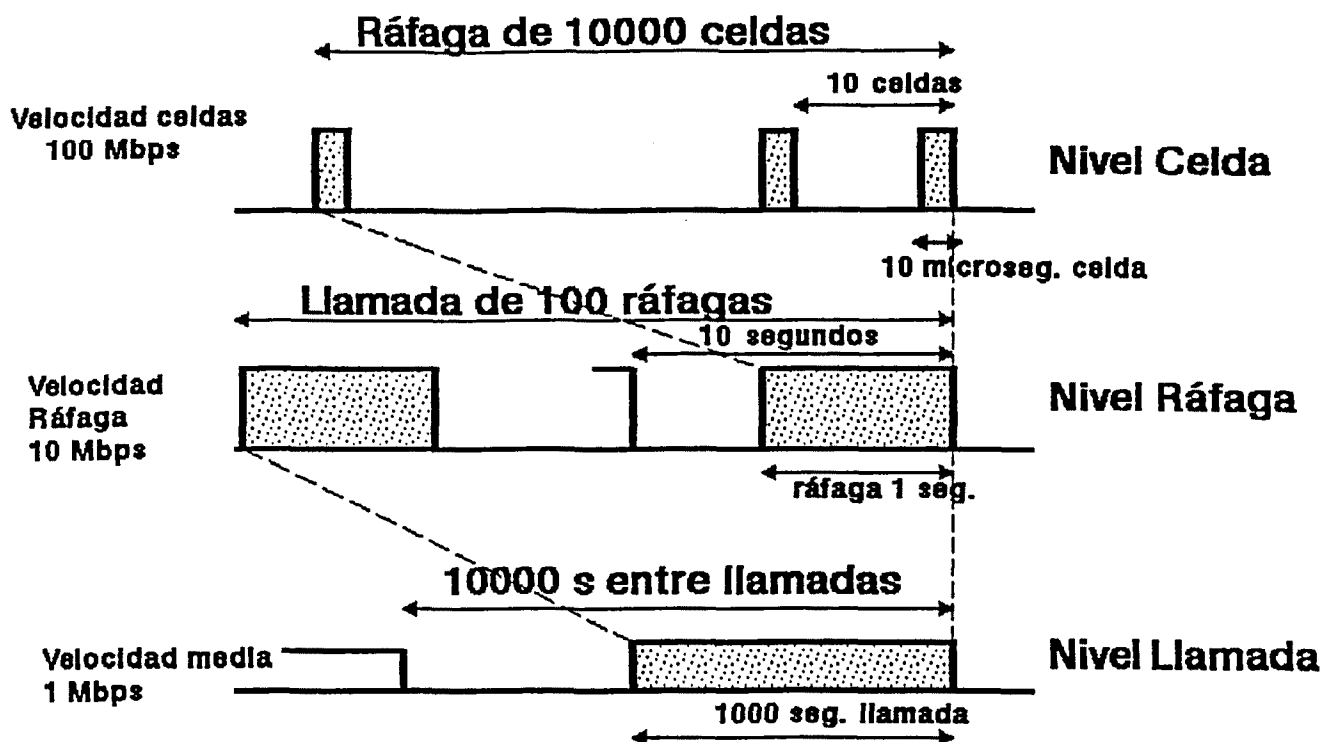


Figura C2. Nivelización del tráfico

Estos niveles indicados nos sirven para definir distintos valores de algunos parámetros, como por ejemplo el bloqueo. En cada nivel este parámetro, útil en el control de la congestión, se puede definir como el suceso de no poder acomodar el ancho de banda demandado. Una llamada es bloqueada cuando la iniciación de la llamada se deniega. Una ráfaga es bloqueada cuando una llamada completada no puede entregar la ráfaga. Un paquete de una ráfaga es bloqueado cuando se pierde antes de la entrega a destino [DZI90].

En el proceso de diseño de redes, podemos definir límites para las probabilidades de bloqueo en cada nivel. Por ejemplo $10E-02$ para bloqueo de llamadas, $10E-04$ para bloqueo de ráfagas y $10E-06$ para bloqueo de paquetes.

En el entorno temporal hablaremos de microsegundos para el nivel de celda, de segundos para el nivel de ráfaga, y de horas para el nivel de llamada [NIK92].

Según [HUI88], sólo un número muy pequeño de llamadas necesitan conseguir las ventajas de los valores medios

estadísticos. En el nivel de ráfaga, el acomodamiento puede no ser necesario si la velocidad media de transmisión de algunos terminales es suficientemente pequeña comparada con la velocidad de transmisión del canal. Para altas velocidades de transmisión, podemos usar los niveles de ráfaga y de llamada para el acomodamiento del ancho de banda. Este proceso de acomodamiento puede resumirse en que el nivel de llamada selecciona un grupo de enlaces, el nivel de ráfaga selecciona un enlace dentro de ese grupo y el nivel de paquete realiza un acomodamiento estadístico en un slot del enlace.

Este trabajo nos lleva a pensar en que el método de control de congestión deberá tener en cuenta la nivelización del tráfico para fijar los límites de los parámetros que intervengan. De todas formas esta tesis estudiará procesos de control de congestión basados en el nivel de ráfaga y de paquete, dejando a un lado la profundización en el nivel de llamada, que correspondería al concepto de control de admisiones (CAC).

Además la evolución de servicios será muy rápida y por lo tanto no son previsibles de antemano sus características de tráfico. Ello nos lleva a que además de posibles fuentes de tráfico reales conocidas, sea necesario la utilización de algún modelo matemático de fuente para realizar las pruebas y simulaciones necesarias para la evaluación de la red y de su comportamiento respecto a la congestión.

C.3 Modelos de tráfico para evaluación de dispositivos ATM

El problema que se plantea en este apartado es el de utilizar el mejor sistema para la evaluación de dispositivos ATM, en este caso los que tienen relación con el control de la congestión.

La mejor manera de evaluar el comportamiento de un sistema es la realizar medidas directas sobre él, cuando éste está disponible y las medidas son posibles. Este no es el caso que nos concierne dado que no se encuentran operativas redes ATM ya que se encuentran aún en fase de investigación.

Por ello, se debe realizar una modelización del sistema, desarrollando en el modelo aquellas características del sistema mas sobresalientes o influyentes en los resultados esperados.

El siguiente paso será encontrar la solución al modelo propuesto. La complejidad de las soluciones vendrá dada por la exactitud que se desee obtener.

Dos son los caminos reconocidos para resolver estos problemas.

En primer lugar mediante la utilización de soluciones

analíticas que viene dadas por el planteamiento analítico de ecuaciones que emulan el comportamiento de nuestro sistema. Una ventaja que presenta este sistema es su bajo coste y su posible resolución exacta, dependiendo del caso. En el entorno ATM en el que nos movemos estos planteamientos analíticos son muy complejos, por lo que deben ser resueltos de forma aproximada e introduciendo un error en la estimación de los valores que se desean medir. Este error no es siempre acotable [GAR92].

En segundo lugar mediante la utilización de modelos físicos que simulan el funcionamiento del sistema que se desea analizar. Este es el caso de los sistemas de simulación por ordenador. Este procedimiento, en la mayoría de los casos, está más a disposición real para la obtención de resultados, dada su menor complejidad que el procedimiento analítico, y la exactitud de las medidas puede hacerse mayor aumentando el periodo de toma de muestras, que en este caso supone aumentar el tiempo de ejecución del programa [KRO90].

Dadas las características de las redes ATM, con unas tasas de errores muy bajas del orden de $10E-10$, exigen que los modelos que simulan el funcionamiento de los dispositivos sean extremadamente exactos, cosa que se consigue aumentando el tiempo de simulación o por procedimientos especiales que nos permitan obviar este problema [ROB91].

A la vista de la complejidad que presenta el análisis del control de la congestión en redes ATM, esta tesis ha optado realizar la evaluación del comportamiento de los dispositivos de función de policía mediante el uso de programas de simulación. El análisis se efectúa estudiando las tendencias, para lo cual no se necesita llegar a aproximaciones tan extremadamente pequeñas como las que se han indicado en el párrafo anterior.

Tanto en el caso analítico como en el de simulación, el problema que se plantea es la modelización de una fuente de tráfico como las que ha de soportar las redes ATM, que será una superposición de tráfico generado por fuentes de voz, datos y vídeo.

El objetivo de una caracterización de fuente es el de identificar y describir los procesos estocásticos que pueden usarse para modelar el variado tráfico en redes ATM. Esto incluye la descripción de fuentes individuales y de fuentes conjuntas agregadas.

El tráfico de datos se modela mediante procesos de Poisson o procesos geométricos, dependiendo de si se observa el sistema en forma continua o discreta. Esto está así reconocido en la literatura científica [NIK92]. Los tráficos de voz y vídeo paquetizados son más difíciles de caracterizar debido a la manera como son generados. El rafagueo inherente a los mismos hacen que no sean útiles modelos poissonianos. Sólo en el caso de que el

número de fuentes sea muy grande, las aproximaciones de Poisson pueden ser válidas, aunque esto no es necesariamente cierto en redes ATM.

Tanto la voz como el vídeo presentan autocorrelación en sus flujos conjuntos. Se plantean diversos métodos de modelaje dependiendo de las condiciones presentes, como el volumen de tráfico, el tamaño de los buffers etc.

En el "survey" realizado por [NIK92] se encuentran resumidas todas las propuestas que hasta el momento se han hecho para modelizar fuentes de estos tipos de tráfico de voz, video y datos.

La tendencia de modelaje de fuentes lleva a construir procesos de Markov (o cadenas de procesos semi-markovianos) para buscar la simplicidad y tractabilidad. Sin embargo el utilizar en cada caso el modelo correcto dependerá del rango de los parámetros que influyen en el problema.

A continuación se explica el modelo general de fuente elegido para modelar el tráfico para evaluaciones de dispositivos conmutadores y de control de congestión en redes ATM [RACb90].

Modelo de fuente

El modelo presentado es el GMDP (General Modulated deterministic process) , especialmente concebido para la simulación de las prestaciones de arquitecturas de conmutadores y funciones de policía. Por ello se han seleccionado distintas fuentes y se ha elaborado una tabla en donde se indican los diversos parámetros que configuran cada tipo de fuente. Estas fuentes serán por tanto artificiales, dado que los parámetros elegidos no están basados en medidas de tráfico real.

Generalmente el tráfico presente en la interface de acceso a la red será una superposición de diversas fuentes con características diferentes.

El modelo GMDP describe el comportamiento de una fuente de tráfico en el nivel de celda y de ráfaga. En cada estado i , se envían un número de celdas distribuidas geoméricamente con tiempos regulares de generación de celdas en un estado (velocidad constante σ_i) durante el correspondiente intervalo T_{Si} . El tiempo de permanencia de los estados σ_i sigue el esquema de una función de distribución general, en este caso geométrica. Después del tiempo de permanencia el proceso pasa del estado i al estado j con una probabilidad de transición P_{ij} ($P_{ii} = 0$).

La figura C3 describe los procesos y estados del modelo presentado.

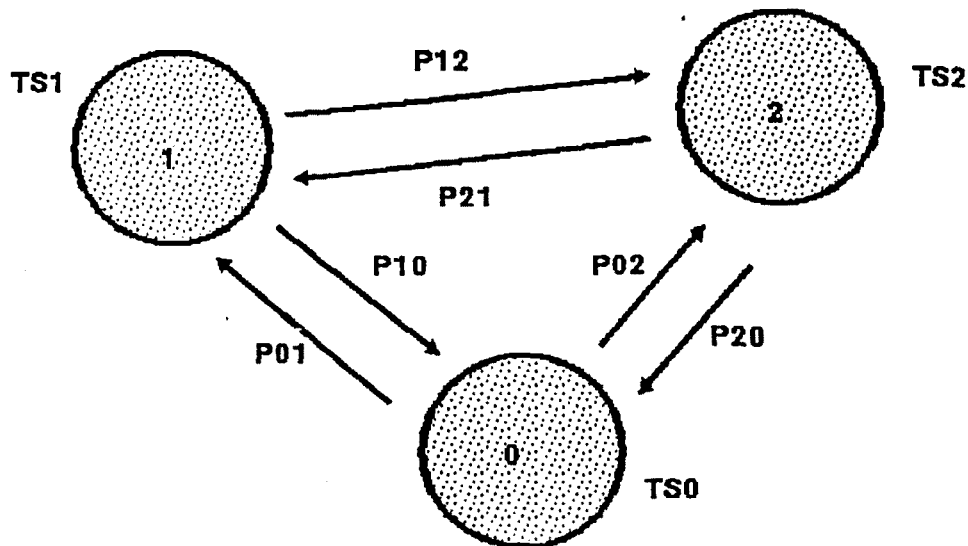


Figura C3. Modelo de fuente

Por un lado, el tráfico debería modelarse tan real como se pueda, y por otro lado se debe reducir la complejidad para hacer viables los estudios de comportamiento y prestaciones.

El tráfico elegido para las simulaciones de esta tesis es similar al presentado con sólo dos estados, como se explicará con detalle en la parte D, que se considera suficiente, aunque se acercaría más a la realidad utilizar más estados.

Podremos observar que el tráfico CBR se indicaría por un solo estado con velocidad de pico constante (no está reflejado en la tabla anterior), y que cada tráfico VBR se consigue variando el número de estados, las velocidades de transmisión y el rafagueo, pero manteniendo la velocidad de pico fijada.

El parámetro b (rafagueo) indica la relación de la velocidad de pico con la velocidad media, el valor m indica la velocidad media y los parámetros:

b_r : velocidad de transmisión en ese estado

p_r : probabilidad de estar en ese estado

t_m : tiempo medio de estancia en ese estado

El servicio indicado corresponde a la clasificación de tráfico realizada en el apartado C1.

Un ejemplo de como se pueden definir fuentes con el procedimiento indicado, que intentan abarcar todo el espectro posible de situaciones reales [RACa90], se indica en la tabla siguiente.

Servicio		tipo	estados			
			0	1	2	
6	6.1	br	0	64 Kbps	-	m=32 Kbps
		pr	0.5	0.5	-	b=2
		tm	500 ms	500 ms	-	
	6.2	br	0	64 Kbps	-	m=12.8 Kbps
		pr	0.8	0.2	-	b=5
		tm	800 ms	200 ms	-	
	6.3	br	0	64 Kbps	-	m=6.4 Kbps
		pr	0.9	0.1	-	b=10
		tm	900 ms	100 ms	-	
7	7.1	br	0.4 Mbps	2.0 Mbps	-	m=1 Mbps
		pr	0.625	0.375	-	b=2
		tm	62.5 ms	37.5 ms	-	
	7.2	br	0.2 Mbps	0.4 Mbps	2.0 Mbps	m=0.42 Mbps
		pr	0.7	0.2	0.1	b=4.76
		tm	70 ms	20 ms	10 ms	
	7.3	br	0.06 Mbps	0.275 Mps	2.0 Mbps	m=0.2 Mbps
		pr	0.75	0.2	0.05	b=10
		tm	750 ms	200 ms	50 ms	

Se podrían especificar diferentes escenarios con tráfico mixto en el siguiente sentido:

1. Tráfico homogéneo de fuentes idénticas.
2. Tráfico mixto con fuentes de idéntico rafagueo y diferentes velocidades de pico.
3. Tráfico mixto con diferentes rafagueos e idénticas velocidades de pico.
4. Mezclas de diferentes rafagueos y velocidades de pico.
5. Mezclas de trafico CBR y VBR.

En esta tesis se utilizará tráfico homogéneo y no homogéneo, aunque en las simulaciones que se utilice tráfico modelado siguiendo un procedimiento similar al anterior sólo se utilizará tráfico homogéneo, y en las que se utilice tráfico real de vídeo se realizarán casos homogéneos y no homogéneos.

Conclusiones Parte C

El tráfico que deberá soportar la IBCN no será homogéneo, y podrá ser de diferentes clases. Se han indicado diversas formas de clasificarlos, y cual será su previsible incidencia en el tráfico global desde un punto de vista porcentual.

El tráfico predominante será el del tipo variable con rafagueo, dadas las características físicas de la red.

El proceso de generación de tráfico, se produce en diversos entornos temporales con diferentes órdenes de magnitud.

Los sistemas de control de la congestión deberán de considerar este determinante aspecto, y dimensionarse y configurarse en relación a ello. Esta tesis se basará en los niveles de celda y de ráfaga para definir y analizar los modelos de control de la congestión.

Será conveniente, para realizar los procesos de simulación de los sistemas que se pretenden estudiar en esta tesis, utilizar modelos matemáticos de definición de tráfico, dada la flexibilidad que ello permite.

Por ello se define un modelo matemático de generación de tráfico y se relacionan ejemplos de configuración de fuentes de tráfico basados en ese modelo.

Parte D. Fuentes de tráfico utilizadas en esta tesis

Las fuentes de tráfico que se van a utilizar en esta tesis para los procesos de simulación serán de dos tipos. Unas basadas en el modelo general GMDP aplicando dos estados, y otras basadas en modelos de tráfico de vídeo real proporcionadas por Telefónica Investigación y Desarrollo (TIDSA), y por el Instituto Politécnico de Lisboa (Portugal).

En el primer caso el objetivo es disponer de fuentes fácilmente manipulables que permitan obtener resultados adecuados a los objetivos perseguidos.

En el segundo caso se utilizan fuentes que permitan analizar de la forma mas real posible el comportamiento de los algoritmos propuestos.

D1. Fuente de dos estados

El modelo utilizado será el MMDP (Markov Modulated Deterministic Process), que será un caso particular del GMDP explicado en la parte C, en el cual el tiempo de permanencia en un estado seguirá una ley exponencial Markoviana, el tráfico en cualquiera de los estados será constante, y como que se trabajará sobre sistemas sincronicos de transporte o ranurados, el instante de generación de una celda se hará coincidir con el instante de inicio de una ranura.

Dentro del modelo indicado se elegirá el de dos estados, ya que presenta una serie de ventajas que lo hacen muy atractivo para el objetivo prefijado:

1. Modelo sencillo
2. Fácil de realizar por ordenador
3. Fácil de tratar analíticamente
4. Permite regular de una forma muy cómoda el rafagueo.

El modelo MMDP propuesto convertirá los intervalos de baja actividad en intervalos de actividad nula o silencios, por lo que serán intervalos alternados de actividad o ráfagas y de silencios. En estas condiciones se denominará fuente ON/OFF.

En la figura D1 se indica un esquema de funcionamiento del modelo presentado, en donde se pueden observar los parámetros indicados y el proceso de generación de celdas propuesto.

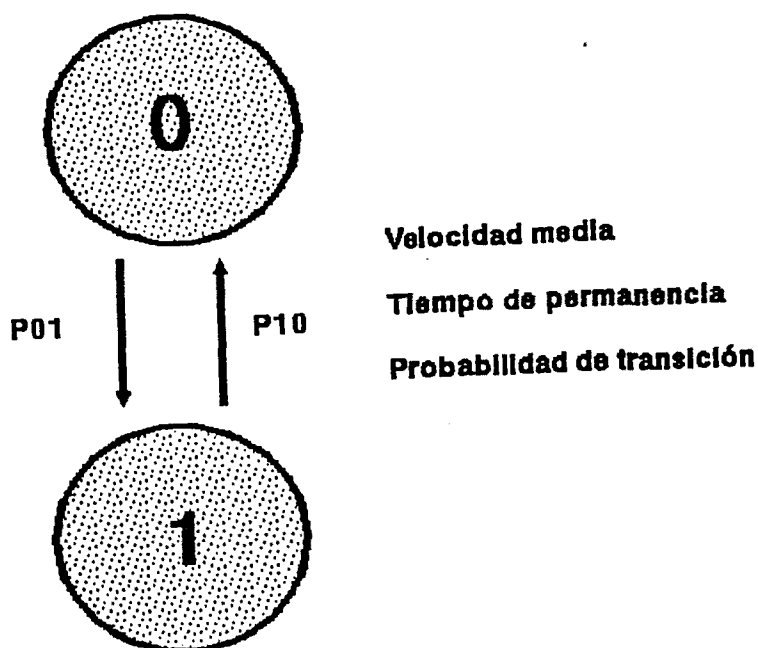


Figura D1. Modelo de tráfico presentado

Este tipo de modelaje de fuente artificial se utilizará en esta tesis para las simulaciones indicadas en los apartados H4.1 y H4.2.

D2. Fuente real de vídeo.

La fuente real de vídeo utilizada para realizar las simulaciones del apartado H4.3 de esta tesis ha sido proporcionada por el departamento de imagen de "Telefónica Investigación y Desarrollo (TIDSA)", empresa del grupo Telefónica dedicada a la investigación en el mundo de las telecomunicaciones, y por el Instituto Politécnico de Lisboa (Portugal).

Utilizaremos trazas de tráfico ATM utilizando secuencias de información obtenidas a partir de secuencias de tráfico real.

Esta información consiste por ejemplo en parámetros de codificación, de longitud en bits de una cierta partición de una secuencia, etc. Un ejemplo de traza obtenida a partir de una secuencia de vídeo será una serie de números que indican para cada imagen o trama el número de bits que la forman. Las trazas se pueden almacenar en ficheros que facilita la realización de simulaciones basadas en tráfico real.

Las trazas con las que se ha trabajado en las simulaciones provienen de codificadores de vídeo. La razón por la que se han elegido este tipo de fuentes es que se trata de tráfico con

fuertes variaciones de intensidad ocupando un gran ancho de banda. Con las trazas de vídeo se pretende reproducir unas condiciones de trabajo bastante extremas.

Estas trazas tienen una serie de características comunes que son las siguientes:

a) Las trazas son ficheros de números enteros, donde cada número corresponde a la longitud en bits de una trama.

b) Las trazas son una sucesión de tramas, con una velocidad que varía según la frecuencia de la codificación elegida.

D2.1 Clasificación del tráfico

Las trazas proporcionadas por el Instituto Politécnico de Lisboa están formadas por tres codificaciones, y dentro de cada codificación hay cuatro subcodificaciones obtenidas modificando diferentes parámetros de cada algoritmo de codificación. Las codificaciones que se dispone son las siguientes:

* CCIR601: Son secuencias de TV de 25 imágenes por segundo entrelazadas, esto quiere decir 50 semi-imágenes por segundo. Aquí consideraremos que una trama equivale a una semi-imagen. Las trazas disponibles son:

- Flower Garden
- Table tennis.

* CIF 25 Hz.: Son secuencias de TV de 25 imágenes por segundo, donde una trama es igual a una imagen. Las trazas disponibles con esta codificación son:

- Diva
- Flower Garden
- Popple
- Renata
- Table tennis

* CIF 10 Hz.: Son secuencias de videoteléfono con una frecuencia de 10 imágenes por segundo. Las trazas disponibles con esta codificación son:

- Claire
- Miss America
- Trevor

Las trazas proporcionadas por Telefónica Investigación (TIDSA) tienen cuatro secuencias diferentes, y de cada una se ha obtenido diferentes trazas a base de codificar con algoritmos diferentes. Las secuencias utilizadas son:

- Claire
- Jack in the Box
- Clown

- Salesman

Una vez convertidas las trazas en celdas, éstas se pueden distribuir en el intervalo de la trama de diversas formas, que se utilizarán en nuestra simulación:

1. De forma equidistante según se indica en la figura D2.

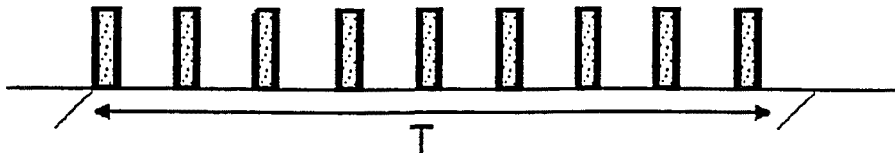


Figura D2. Celdas equidistantes

En estas condiciones es cuando se introduce menos carga en la red.

2. De forma acumulada al principio de la trama según se indica en la figura D3.

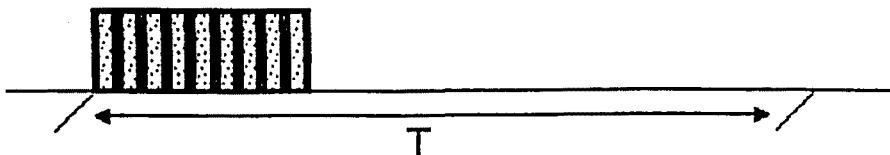


Figura D3. Celdas acumuladas

En estas condiciones es cuando se produce una mayor carga en la red, y su funcionamiento será más crítico.

3. Distribuidas por la trama de forma aleatoria, tal como se indica en la figura D4. Esta distribución se habrá realizado con una variable aleatoria geométrica de media $1/D_i$, siendo $D_i = \text{bits trama } i / \text{Duración de la trama} + \text{remanente posible de la trama } i-1$. Dado que el orden de magnitud del tiempo de aparición de celdas es de milisegundos, y el tiempo de celda es del orden de microsegundos no se espera que haya celdas de la trama $i-1$ que puedan pasar con este procedimiento a la celda i .

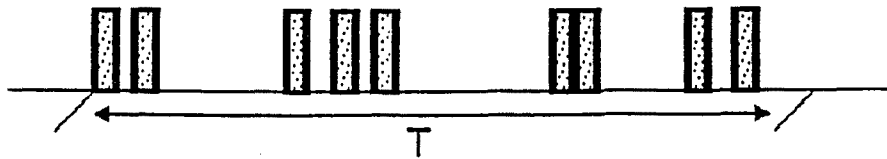


Figura D4. Celdas distribuidas de forma aleatoria

El objetivo de estas tres distribuciones es el siguiente:

Distribución 1: Para simulaciones del comportamiento de las funciones de policía a la entrada de la red.

Distribución 2: Para simulaciones del comportamiento de las funciones de policía diseñadas para la distribución 1, al ser atacadas por distribución 2, que supondrá o un error de la fuente, o un intento de crear congestión, o un jitter extremo.

Distribución 3: Para simulaciones de situaciones dentro de la red, al ser atacadas las funciones de policía diseñadas para tráfico de la distribución 1, con la distribución 3, que representa que es un tráfico del tipo de distribución 1 que ha sido sometido a un efecto simulado de "delay jitter".

D2.2 Caracterización del tráfico.

Este tráfico de vídeo ha sido sometido a un proceso de caracterización del mismo utilizando las técnicas desarrolladas en [SOL91] con el fin de obtener los parámetros más característicos como son la función de densidad, la media exacta, la media aproximada, la desviación típica y el número de medidas fuera de rango.

A partir de los datos obtenidos se ha elegido el tráfico Flower Garden para la realización de las simulaciones ya que presenta una intensidad media de tráfico en el punto medio de los tráficos analizados.

Conclusiones parte D.

En esta parte se han indicado los dos tipos de fuentes utilizadas en las simulaciones utilizadas en esta tesis.

En primer lugar se han estudiado las fuentes artificiales del tipo MMDP de dos estados o fuentes ON/OFF, que se ha utilizado en las partes H4.1 y H4.2.

En segundo lugar se han estudiado y caracterizado las fuentes reales de video que se han utilizado en las simulaciones de la parte H4.3.

Las fuentes artificiales tienen como ventaja mas importante la sencillez de su planteamiento y la flexibilidad de uso, y las fuentes de video su aproximación a las situaciones reales.

Parte E. Funciones de Control de la Congestión

E1. Necesidad de su existencia.

En redes de conmutación de paquetes, desde siempre ha sido necesario realizar un control de la congestión para evitar situaciones de rebosamiento de los buffers. En el caso de redes de conmutación rápida de paquetes este problema adquiere un importancia estratégica debido a la ausencia del control de flujo y errores en los niveles bajos de la arquitectura OSI.

La congestión ocurre cuando la demanda es superior a los recursos disponibles [JAI90], y puede resumirse en los siguientes puntos:

1. Buffer`s limitados en su tamaño.
2. Enlaces lentos.
3. Procesadores lentos.

Todos estos puntos son realidades de la red ATM en análisis y el hecho de aumentar el tamaño de los buffers o la velocidad de los enlaces y de los procesadores no solucionará el problema, sino que simplemente los desplazará a otros órdenes de magnitud, y en ciertos casos variará las prestaciones de la red con una reducción del throughput [JAI90].

Una simple definición de Congestión nos permite clasificar los distintos esquemas para su tratamiento en dos sistemas:

1. Aquellos que dinámicamente incrementan los recursos disponibles.

Ejemplos de este caso son la utilización de enlaces adicionales del tipo dial-up, aumento de potencia en enlaces via satélite que permitan incrementar el ancho de banda, rutas adicionales no consideradas inicialmente, y buffers adicionales o incremento dinámico del tamaño de los buffers.

2. Aquellos que dinámicamente reducen la demanda.

Estos esquemas tratan de reducir la demanda al nivel de los recursos disponibles. Estos esquemas necesitan que el usuario sean informados de la situación de carga de la red para que puedan ajustar su tráfico, o bien que previamente acuerden con la red la carga que pueden enviar y esto sea controlado por la red.

Hay básicamente tres modelos dentro de este esquema:

a) Rechazo de servicios. No se permiten la apertura de nuevas sesiones durante la congestión. Como ejemplo de este sistema tenemos los casos en que las compañías de teléfonos convencionales no envían el tono de invitación a marcar en caso de congestión de la red telefónica.

b) Degradación de servicios. Todos los usuarios deben reducir su carga en caso de congestión. Como ejemplo de este sistema tenemos la utilización de ventanas variables basadas en la carga.

c) Catalogación de demandas. Este esquema solicita que los usuarios cataloguen sus demandas de tal forma que el total de la demanda sea menor que los recursos disponibles. Ejemplo de ello son funciones de control de admisiones y funciones de policía.

Todos los sistemas de control de congestión requieren de la red una medida de la carga "feedback" para poder realizar la acción de remedio "Control". Dependiendo de la carga, la señal de "feedback" es enviada por el recurso congestionado a los puntos de control correspondientes, los cuales toman el "Control" correspondiente.

Hay diversos métodos de "Feedback" propuestos, todos ellos muy conocidos y aplicados en diversas redes, por ejemplo redes X.25, entre los que se destaca:

1. Mensajes de "Feedback". Mensajes explícitos que se envían desde el recurso congestionado hasta el punto de control. Del tipo "Choke packets", "Source quench messages" y "Permits". En contra de este sistema hay que decir que los propios mensajes de congestión incrementan la carga de la red con mensajes de servicio, pudiendo agudizar el problema.

2. Mensajes de ruta. Relacionado con los encaminamientos adaptativos, los nodos vecinos se envían información sobre ocupación de buffers y retrasos entre nodos que permiten modificar y adaptar el tráfico a las circunstancias.

3. Paquetes de prueba. Requiere fuentes que envían paquetes de prueba que circulan por todo el circuito virtual a través de la red, ajustando su carga por la experiencia del paquete de prueba.

4. Campos en paquetes. Soluciona la sobrecarga producida por los mensajes de "feedback" reservando campos especiales en los paquetes que realizan la función mencionada.

Para la ubicación del "Control" las diferentes propuestas son:

1. Extremos. El tráfico es generado por los sistemas extremos y son estos los que controlan la congestión. Si la red y el

sistema extremo están bajo un control administrativo distinto, como por ejemplo en las redes públicas, el control puede ser ejercido entre DCE`s. Un ejemplo de ello lo tenemos en esquemas con ventanas dinámicas.

2. Acceso a la red. Similar a las luces de entrada en los accesos de algunas autopistas. Ejemplo de ello serían sistemas de control de admisiones y funciones de policía.

3. Capas de red y de enlace en toda la red. Todos los nodos de la red aplicarían el control de la congestión con procedimientos similares al caso anterior. Ejemplo de ello serían el control de admisiones, las funciones de policía y el tratamiento de prioridades.

Resolver el problema del control de la congestión es una árdua tarea en la que muchos investigadores llevan mas de dos décadas trabajando en ello, y ninguna de las soluciones planteadas hasta ahora suponen una respuesta definitiva. Aunque existen muchas propuestas para ello [NAK89] [ECK89] [OKA91] [GIB91] [ECK91] [HON91] [HAB91] [VAK91] [HAA91] [FEN91] [JAL91], a continuación se estudiará un resumen de aquellas propuestas que se han considerado mas interesantes.

Podemos resumir un sistema de control de la congestión ideal como aquel que cumpla las siguientes condiciones:

1. No debe introducir una sobrecarga en la red.
2. Debe de ser justo. En este caso la definición de justicia no es trivial y existen diversas propuestas sobre ello [JAI90], y en todo caso debe afectar por igual a todos los usuarios en caso de congestión.
3. Debe ser sensible a los cambios de demanda y de oferta de recursos.
4. Debe de trabajar en entornos muy deteriorados con total garantía.
5. Debe de ser óptimo en conjunto, nunca considerando un usuario aislado.

Todo ello conduce a la conclusión de que el control de la congestión en una red ATM no es un problema trivial, dada la complejidad del tráfico, su caracter asíncrono de aparición y la limitación de recursos.

E2. Modelo de sistema de gestión de red.

En la filosofía del CCITT [CCI88], la gestión de red debe proveer en entornos ATM facilidades de soporte del tipo

"OAM&P". Estas iniciales quieren decir:

- O. "Operation". Operación.
- A. "Administration". Administración.
- M. "Maintenance". Mantenimiento.
- P. "Provision". Suministro.

En general debe proporcionar funciones genéricas que permitan controlar en la red la configuración, las prestaciones, el mantenimiento, la tarificación y la seguridad.

Según indica OSI [CAS89] hay cinco categorías en las funciones de gestión de red. Estas son:

1. Gestión de la configuración y de los nombres de red.

La gestión de red debe conocer la configuración de la red y de sus elementos, para obtener posibilidades de reconfiguración y estudiar los impactos de esta reconfiguración sobre las prestaciones. Por otro lado todos los elementos de la red deben de tener su nombre para su identificación inequívoca.

2. Gestión de las prestaciones de la red.

Se deben de proporcionar las suficientes herramientas que permitan monitorear, controlar, analizar y poner a punto la red.

3. Gestión de mantenimiento.

Conjunto de herramientas y funciones utilizadas para reparar un anormal funcionamiento de la red. Se pueden considerar tres fases en el proceso: Detección de fallos, localización de fallos y terapia de arreglo.

4. Gestión de tarificación.

Conjunto de herramientas que permitan confeccionar la facturación por el uso de la red. Las funciones mas importantes serán: informar a los usuarios de los costes de sus comunicaciones, limitar el uso de recursos para un límite de coste determinado, combinar los costes cuando se utilicen distintos recursos de la red y calcular la factura para los usuarios.

5. Gestión de seguridad.

Conjunto de herramientas y funciones para proteger la red para un uso no autorizado o convenido. Permite la autenticación, autorización, control de acceso, encriptación y explotación de la seguridad.

En un sistema de gestión de red, las funciones

centralizadas deben cooperar con las funciones distribuidas, en todos los elementos de la red [SEG91].

Se propone [SANC91] localizar estas funciones en tres niveles, tal como se indica en la figura E1, y considerarlos estos como elementos independientes en la gestión de red.

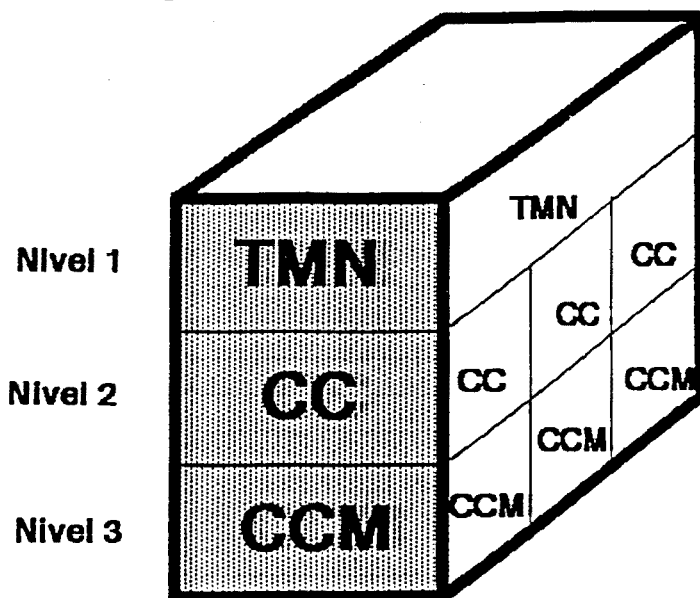


Figura E1. Modelo de gestión de red

E2.1 Primer nivel . Gestión global de red. (TMN)

Este nivel centralizado gobernará toda la red y recibe información y servicios de los niveles inferiores para realizar con eficacia su labor.

El principal objetivo de este nivel será la coordinación de todos los datos recibidos para cumplimentar los servicios indicados de OAM&P, y a su vez proporcionar información a los niveles inferiores para que puedan desempeñar sus funciones con el máximo conocimiento sobre el estado de la red.

En [GUI90] se propone una modificación de las recomendaciones del CCITT [CCT88] en lo que se refiere a la estructura del TMN, definiendo las Funciones de operación del sistema ("OSF") y las funciones de mediación ("MF"), relacionando ambas funciones mediante la Función del elemento de red ("NEF") según se indica en la figura E2. Esta solución difiere de la originalmente propuesta por el CCITT en la distribución de tareas pero no en el contenido de las mismas.

Dentro de las funciones asignadas al OSF destacaremos:

1. Funciones de infraestructura. Proporciona capacidad de proceso que soporte las funciones específicas del nivel. Incluye las comunicaciones físicas, el pase de mensajes, almacenamiento

de datos y los interfaces hombre-máquina necesarios.

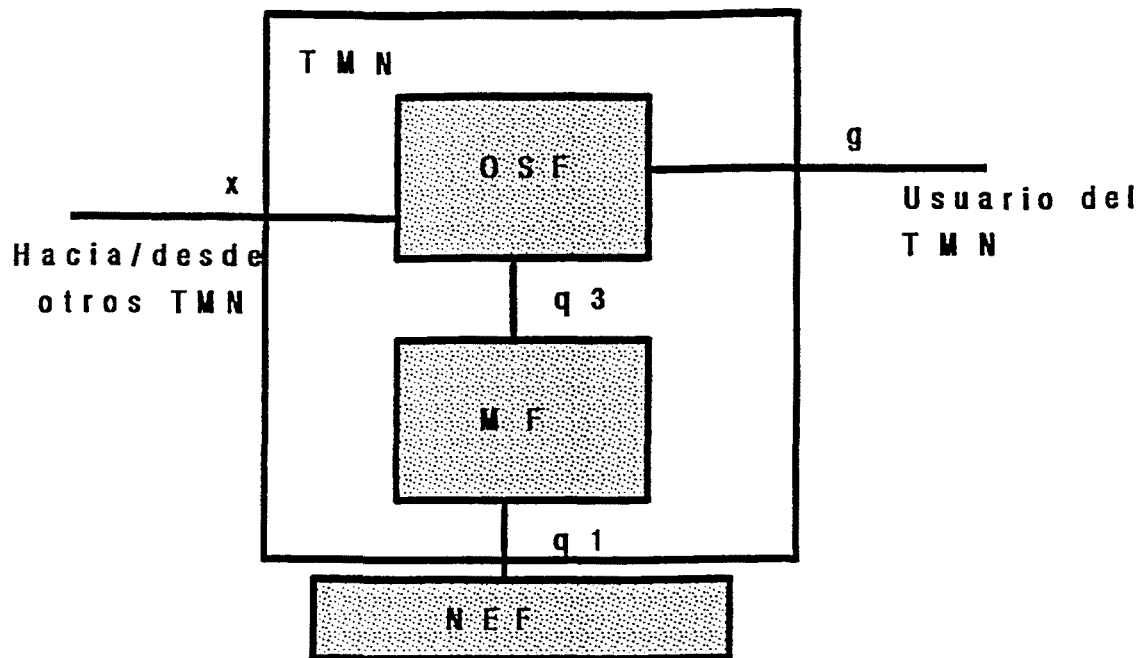


Figura E2. Modelo de TMN

2. Funciones genéricas de usuario. Específicamente creadas en este entorno pero de uso general. Cada una de ellas soporta un número determinado de aplicaciones de usuario sujetas a una determinada normalización. Las funciones detectadas hasta el momento son las siguientes:

- . Monitorización. Permiten observar el sistema y los parámetros básicos desde una posición remota.

- . Estadísticas. Distribución y recolección de los datos necesarios para establecer análisis estadísticos del comportamiento general de la red.

- . Guía de operación. Ayudas al operador para la gestión del sistema, proporcionando guías para pruebas, reparaciones y ampliaciones manuales.

- . Pruebas de ejecuciones y control. Serán realizadas para mantenimiento, instalación, gestión de prestaciones y operación normal de la red.

- . Gestión de la configuración de la red. Permitirán conocer en todo momento el estado de la configuración de la red, y de las posibles opciones válidas de modificación de la misma.

3. Funciones específicas de usuario. Incluye todos aquellos procesos implementados para un determinado grupo de usuarios del

TMN. Cada uno de ellos deberá utilizar las funciones genéricas de usuario descritas antes.

El OSF será el módulo de relación del sistema de gestión con el usuario de la red y con otros sistemas de gestión de red de otras redes. Estos puntos [RACb90] serán los puntos de referencia "g" y "x". Se definen cuatro niveles del OSF:

1. Gestión de empresa. Relacionado con la empresa que explota la red. Incluye funciones de organización y explotación dentro del entorno macroeconómico en que se desenvuelva la red.

2. Gestión de servicio. Manejo de servicios particulares que se puedan implementar en la red ATM, mediante las oportunas interconexiones, como por ejemplo redes X.25 o teléfonos de uso público.

3. Gestión de red. Relacionado con laas funciones que permiten gestionar la red en cuestión [CCT88].

4. Gestión de elementos. Controlar el número de Nodos existentes en la red que sirven para la gestión. Estos nodos serán los elementos de red.

En cuanto se refiere a la función de mediación "MF" indicar que su inclusión comprende un control de las comunicaciones entre el OSF y NEF con una conversión de protocolos y manejo de datos.

La función del elemento de red "NEF" es la de conectar la red con el TMN para los propósitos que le conciernen.

E2.2 Segundo Nivel. Control de llamadas.

Este segundo nivel analiza los recursos de la red, tales como carga de los enlaces, uso de buffers etc., para realizar la decisión acerca de la aceptación de llamadas.

Puede estar ubicado físicamente en todos los nodos de la red, y su principal función será la de relacionar los diferentes circuitos virtuales de una misma llamada. Controlará los servicios que puede ofrecer referentes a la admisión de llamadas, y una llamada no entrará en la red y no utilizará recursos sino es posible que la red le pueda garantizar el QOS predeterminado por el TMN.

La conexión entre los diferentes nodos de la red para este nivel debe realizarse exclusivamente durante el establecimiento de la llamada y durante el proceso de aceptación de llamadas, que incluye la conexión de los diferentes circuitos virtuales de una llamada. Este nivel proporcionará servicios al TMN relacionados con OAM&P durante la llamada.

E2.3 Tercer nivel. Gestión del control de la congestión.

Este nivel proporciona las funciones para el control de la congestión y garantiza que la red ofrece el GOS y el QOS requerido para un determinado servicio.

Las funciones que integran este nivel serán las referentes al encaminamiento, las prioridades, el control de admisiones y las funciones de policía.

El encaminamiento indicará cual es la ruta mas conveniente en cada momento del establecimiento del circuito virtual.

Las prioridades indicarán la posibilidad de que una celda adelante a otras aun cuando no le corresponda, en los distintos puntos de la red en donde hay acumulación de celdas

El control de admisiones decide cuando una nueva conexión (circuito virtual) puede aceptarse o no teniendo en cuenta diversos criterios proporcionados por el nivel superior.

La función de policía controlará las celdas que entran en la red, protegiéndola de posibles violaciones de contrato por parte del usuario. Este contrato debe garantizar el QOS para cada usuario.

La evolución de los sistemas de gestión de red [LIN91], aparte de la que indique la normativa internacional se dirigirán hacia:

- . Disminución de la variedad de sistemas
- . Correlación de datos dentro del sistema para evitar la duplicidad de información.
- . Procesamiento mas profundo de la información.
- . Orientación de la gestión hacia el cliente

E3. Prioridades

En un principio se quiso introducir un único servicio portador dentro de una red ATM cuyas características permitiesen al nivel de adaptación de ATM satisfacer los requerimientos de QOS de todos los servicios de B-ISDN. Esto limita la utilización de los recursos de la red y su flexibilidad puesto que la red ha de dimensionarse de acuerdo con los requerimientos de los servicios más restrictivos.

Una solución a este problema consiste en introducir como mínimo un segundo servicio portador (correspondiente a una segunda clase de tráfico en ATM) para conseguir una flexibilidad comparable en QOS y ancho de banda. El QOS de una determinada conexión ATM depende, como se ha dicho antes, principalmente de

dos parámetros: el retardo de transferencia extremo a extremo y la probabilidad de pérdida de celdas extremo a extremo.

Estos dos parámetros pueden modificarse con la introducción de prioridades que pueden asignarse o bien a cada conexión o bien a cada celda.

Como la velocidad de transmisión en una red de banda ancha es muy elevada, el retardo introducido por las colas en los "buffers" y el "jitter" son pequeños comparados con el retardo de propagación. Ello hace que las prioridades temporales (lo que normalmente se conoce simplemente como prioridades) tengan en este contexto poca utilidad.

Las celdas pérdidas en el nivel ATM pueden en un principio recuperarse usando protocolos extremo a extremo adecuados. Sin embargo, servicios en tiempo real como, por ejemplo, comunicación por video interactiva no permiten la retransmisión de celdas.

La función de policía y unos mecanismos especiales de acceso a los "buffers" pueden adaptar la probabilidad de pérdida de celdas de una clase de tráfico dada a las restricciones de QOS del servicio de comunicación correspondiente. Esta flexibilidad en el QOS permitirá una mejor utilización de los recursos de la red.

Han sido propuestos varios mecanismos que permiten un acceso selectivo al buffer dependiendo de la clase de tráfico (es la denominada prioridad espacial). Existe un mecanismo que garantiza el acceso al buffer de una determinada clase si el buffer no está lleno o bien si, estando lleno, la celda que llega puede reemplazar a una de menos prioridad. La selección de la celda de menos prioridad que será descartada se controla mediante la política de reemplazo elegida. El problema de este mecanismo es que el hecho de tener que preservar el secuenciamiento de las celdas complica mucho la gestión de dicho buffer. Debido a ello se ha propuesto otro mecanismo con peor rendimiento pero que permite una gestión más sencilla del buffer. El denominado "compartición parcial del buffer" garantiza el acceso al buffer de una celda de clase i si hay menos de S_i posiciones de buffer ocupadas. Así la clase de mayor prioridad (clase 1) tendrá acceso a todo el buffer S , es decir $S_1=S$. Ajustando convenientemente los valores de S_i se puede adaptar el sistema a distintas situaciones de carga.

Un tercer mecanismo utiliza rutas separadas dentro de la red para diferentes clases de tráfico. Esta es la forma más sencilla de utilizar las prioridades espaciales ya que no requiere ningún tipo de gestión a nivel de celda puesto que el procesado de las prioridades lo ejecuta, a nivel de conexión, la función de encaminamiento. Este mecanismo, pues, sólo es utilizable si las prioridades se asignan a nivel de conexión ya que la red ATM ha de preservar la secuencia de las celdas.

E4. Control de admisiones

Debido a la naturaleza asíncrona de los accesos, el desbordamiento de las colas es un fenómeno inevitable en una red también asíncrona. El objetivo del control de admisiones es limitarlo con métodos compatibles con las señales transportadas.

Con la llegada de una nueva llamada, la red debe predecir la degradación en el funcionamiento que supondría la aceptación de la misma, basándose en la carga de tráfico actual y en las características de la nueva llamada.

El decidir si una nueva conexión puede ser aceptada o no, será un apartado muy importante en la gestión de red, ya que supondrá una posible ocupación o no de recursos y por ello una posible alteración del GOS que se esté ofreciendo en un momento determinado. La nueva llamada sólo será aceptada cuando se puedan cumplir los requisitos que imponen los parámetros del QOS.

Podremos basar los procedimientos de control de admisiones en la carga, en la tasa de pérdidas de celdas y en el retardo.

El principal obstáculo en la obtención de un control de admisiones adecuado es la falta de modelos analíticos suficientemente buenos para un tráfico heterogéneo que proporcionen una evaluación "on-line" del grado de servicio.

Si denominamos con N_i , $i = 1, \dots, M$ el número de conexiones del tipo de servicio i (por ejemplo $i = 1$ telefonía, $i = 2$ videotelefonía, etc) y X_i la variable aleatoria que representa el ancho de banda requerido por una conexión del tipo i , podremos medir el ancho de banda ocupado por una mezcla de tráfico (N_1, \dots, N_M) con una función de control F a definir y aplicada sobre X_i .

Una llamada de tipo i será rechazada si

$$F(N_1, \dots, N_{i+1}, \dots, N_M) > \text{Max}$$

El problema por tanto consistirá en concretar esta función F .

El algoritmo de aceptación de conexiones se utilizará en la fase de establecimiento de la llamada para determinar si esta puede ser aceptada o no.

En caso de que el procedimiento de funcionamiento de la red esté basado en circuitos virtuales, una conexión no estará completada hasta que el procedimiento de establecimiento del circuito virtual esté concluido, y por lo tanto se deberá haber

aplicado el algoritmo de aceptación de conexiones sucesivamente por los nodos por donde pasa el circuito virtual.

En cada nodo la decisión estará igualmente basada en:

- . Las características de la conexión en progreso (ancho de banda requerido, etc.)
- . El estado del nodo en lo que se refiere a la carga existente y a la capacidad restante de "buffers", etc.
- . Como puede afectar la nueva conexión al QOS de las conexiones existentes.

El control de admisiones es una tarea comparable a la búsqueda de un canal libre en un funcionamiento STM ("Synchronous Transfer Mode").

La búsqueda de funciones de control de admisión está en fase de investigación y desarrollo y todavía no se han definido claramente cuales serán las que se aplicarán, dada la complejidad real del tráfico ofrecido.

No obstante existen unas funciones de control de admisiones estudiadas y evaluadas que están basadas en valores negociados durante el establecimiento de la llamada [MUR91] [TSE91].

Todas estas funciones tienen como característica su sencillez y como consecuencia su aplicación no supone un incremento sustancial de la capacidad de multiplexación estadística efectiva de la red.

Dado el vector (N_1, \dots, N_s) que denota el estado del sistema en el nivel de conexión, por ejemplo N_i conexiones del tipo i , $i = 1, \dots, s$, se establecen en un enlace con capacidad disponible C . Se supone que las fuentes son independientes entre si.

La variable aleatoria Y para el ancho de banda requerido por el flujo total de tráfico estará dada por la suma de las variables aleatorias de los flujos individuales:

$$Y = \sum_{i=1}^s N_i \cdot X_i$$

Los parámetros de comportamiento los calcularemos a través de la función de distribución de Y .

Definiremos la probabilidad de congestión PC como

$$PC(Y) = P(Y > C)$$

Para el flujo total de tráfico el valor de la velocidad de transmisión en celdas que exceden la capacidad del enlace será:

$$VCE(Y) = (1/E(Y)) \cdot \sum_{L>C} (L-C) \cdot P(Y=L)$$

donde E(Y) indica el valor medio y L el valor requerido en exceso de la capacidad C.

Suponiendo que el número de celdas que exceden la capacidad del enlace es aleatorio, la velocidad de transmisión de celdas VCI para flujos individuales de celdas X_i , $i=1, \dots, s$ estará dado por

$$VCI(X_i, Y) = E(X_i) E^{-01} \cdot \sum_{L>C} \sum_j \frac{A_{ji}}{L} \cdot (L-C) \cdot P(X_i = A_{ji}, Y=L)$$

donde A_{ji} es el ancho de banda requerido

Los valores de VCE y VCI nos proporcionan estimaciones para la velocidad de transmisión de celdas perdidas totales e individuales respectivamente [RACa90].

Los tipos de algoritmos de control de admisiones estudiados hasta el momento son:

E4.1 Valor de pico

Es el caso mas sencillo de algoritmo de control de admisiones, en donde para cada conexión se reserva el ancho de banda correspondiente al valor de pico de la velocidad de transmisión. Esto quiere decir que en todo momento la suma de los valores de pico de las conexiones en curso debe ser menor o igual que la máxima velocidad admitida por el enlace que debe dar soporte a estas conexiones.

En este método se realiza una pobre utilización de los recursos, dado el caracter variable del tráfico, aunque su grado de fiabilidad es muy alto.

E4.2 Aproximación por convolución.

Las condiciones que podemos establecer entonces para la determinación de si una llamada puede ser aceptada o no serán:

$$\begin{aligned} E(Y+X_i) &< \delta \cdot C \\ PC(Y+X_i) &< \epsilon_1 \\ VCE(Y+X_i) &< \epsilon_2 \\ VCI(X_j, Y+X_i) &< \epsilon_3 \quad j=1, \dots, s \end{aligned}$$

Posibles valores $\delta = 0.8$ $\epsilon = 10E-10$

La distribución de Y y los parametros dados pueden calcularse exactamente por convolución. Existen herramientas software como ATMOS [RACa90] que permiten evaluar la probabilidad de congestión

para cada tipo de fuente . Se han realizado pruebas con tres tipos distintos de aproximaciones [RACb90]:

a) El flujo total de tráfico se aproxima por la superposición de fuentes on/off, en las cuales la media y la varianza es la misma.

b) Para cada tipo de tráfico, la distribución del ancho de banda requerido se aproxima por una variable aleatoria de dos estados con la misma media y varianza.

c) Para cada tipo de tráfico, la distribución del ancho de banda requerido se aproxima por una variable aleatoria de dos estados con la misma velocidad de transmisión media y de pico.

Estas aproximaciones se han comparado con distribuciones exactas para fuentes de tráfico mixtas en [RACa90] y las conclusiones obtenidas son:

El método a) es demasiado optimista en la mayoría de los casos. Los comportamientos de los métodos b) y c) dependen del ancho de banda definido para el estado de carga mas bajo. El metodo c) tiende a ser muy optimista excepto en el caso en que la varianza es la misma como en b). Los resultados para el método b) indican que se puede obtener una aproximación conservadora cerca de los valores exactos eligiendo apropiadamente el ancho de banda del estado bajo (en general mayor que 0).

E4.3 "Two Moment Allocation Scheme"

Este método está basado en la suposición de que la distribución del ancho de banda requerido de todas las llamadas existentes puede aproximarse por una distribución normal o gaussiana con la misma media y varianza.

Sin embargo desde un punto de vista matemático es conocido que esta aproximación proporciona resultados cercanos a la realidad solo cuando se suponen un número grande de fuentes.

La razón de la existencia de esta aproximación es que la probabilidad de exceder cierta capacidad dada puede expresarse por la siguiente expresión la cual se puede considerar simple:

$$PC(Y) = P(Y > \delta.C) < \epsilon$$

Esto implica que:

$$E(Y) + F_{\epsilon}^{-0.5} \cdot \text{Var}(Y) \leq \delta.C$$

siendo F_{ϵ} el ϵ -fractile de la distribución normal

$E(Y)$ el valor medio
y $Var(Y)$ la varianza.

Si el procedimiento de control de admisiones está basado solo en la probabilidad de congestión, con la suposición de la distribución normal el algoritmo CAC es muy simple. Dado el valor medio y la varianza para cada tipo de tráfico solo debe de estimarse el valor de ϵ -fractile para el cálculo, sin necesidad de buscar la función de distribución.

E4.4 Función lineal

La aproximación lineal se puede definir de la siguiente forma:

$$F(N_1, N_2, \dots, N_s) = \sum_{i=1}^s B_i N_i$$

con la siguiente función de decisión:

$$F(N_1, N_2, \dots, N_{i+1}, \dots, N_s) \leq \delta.C$$

donde B_i será el ancho de banda efectivo para el tipo de tráfico i . Estas medidas de prestaciones deben cubrir las características del tráfico de la conexión y la QOS elegida para asegurar un comportamiento aceptable de todas las conexiones que comparten un mismo enlace en relación con la nueva solicitud. El ancho de banda efectivo estará entre el valor medio y el valor de pico.

Resultados numéricos indican que para traficos no homogéneos el límite de la región de carga admisible puede aproximarse por una función lineal. Pero dependiendo de las fuentes consideradas los resultados pueden estar cerca del esquema de valores de pico [RACb90].

E4.5 Método independiente de la fuente

Este método ha sido propuesto por [RAS91] y está basado en la especificación por parte de la fuente del peor caso de transmisión que espera realizar.

Para un determinado circuito virtual, se define una velocidad de pico de celdas virtual como la velocidad de pico de celdas medida en un intervalo especificado T_s , y una velocidad media de celdas virtual como la velocidad media de celdas en un intervalo T_l tal que $T_s > T_l$. El método indicado de CAC controla estos dos valores para cada circuito virtual y pueden ser controlados con una función de policía del tipo Moving Window o Leaky Bucket (como se indican en el apartado siguiente).

El autor referenciado [RAS91] nos muestra como se pueden calcular los límites de congestión para buffers finitos

utilizando tráfico multiplexado de diferentes fuentes. Las fuentes utilizadas son del tipo ON/OFF y se conoce la máxima duración de una ráfaga. En este método se acepta una nueva conexión sólo si la congestión resultante en el enlace de transmisión es aceptable bajo el peor caso de todas las fuentes presentes, sino es rechazada.

Los dos problemas a resolver por dicho método son los siguientes:

1. Especificación de la velocidad media y de pico virtual para fuentes típicas de tráfico.

2. Máxima ganancia de multiplexación en el peor caso para fuentes típicas ATM.

Conclusiones sobre el control de admisiones.

La simplicidad de los mecanismos propuestos no solucionan de una forma efectiva el problema del control de admisiones, ya que o bien existe un exceso de optimismo a la hora de admitir conexiones, o bien se están infrautilizando los recursos disponibles [RACb90].

E5. Función de Policía.

Un usuario cualquiera puede en cualquier momento enviar a línea mas información de la que está autorizado, o mas información de la que la red admite para que no perjudique a otros usuarios. Ante esta situación, la red ha de disponer de mecanismos que controlen este flujo de información. Esto es lo que genéricamente se conoce como función de policía.

Los objetivos de esta función son:

1. Ningún usuario ha de degradar la calidad del servicio (QOS) de otro usuario.

2. Los usuarios no han de recibir servicios que no tengan contratados.

3. Hay que evitar la congestión de la red. Una red está congestionada cuando, cuanto más se incrementa el ritmo de entrada de celdas más se reduce el de salida.

Desde un punto de vista de tráfico podemos definir el objetivo de la función de policía como aquella que permite asegurar el QOS para cualquier fuente según los parámetros negociados en el proceso de establecimiento de la llamada.

Conociendo los parámetros de la función de policía y de la fuente se podrá asegurar por ingeniería de tráfico, aunque la función de policía nos produzca retrasos o pérdidas de celdas,

una tasa de error de celdas determinada.

Tanto la fuente como el proceso que realiza la función de policía dispondrán de unos parámetros que definirán su funcionamiento.

Los parámetros de la fuente darán una completa especificación del flujo de celdas ofrecido y los parámetros de la función de policía dependerán del sistema elegido. Aquellas celdas que violen la función de policía serán penalizadas. Aquellas que sean aceptadas pasarán a un canal de salida (entrada a la red) con un funcionamiento similar a un multiplexor estadístico.

Las funciones de policía que se van a poder utilizar en redes ATM están en fase de discusión y por lo tanto aún no están definidas, pero es de suponer que se ajustarán a los siguientes requerimientos:

- . Fácil de realizar
- . Han de permitir la máxima flexibilidad a la fuente

La calidad del sistema de función de policía vendrá dada por la capacidad de tratar tráfico de lo mas diverso manteniendo la probabilidad de pérdida de celdas válidas dentro de los márgenes requeridos por la fuente. Esto supondrá que en el contrato del usuario con la red se deberá de tener en cuenta la actuación de la función de policía.

E5.1 Arquitectura

Los requerimiento mas importantes que debe tener la función de policía y que condicionarán su arquitectura son los siguientes:

1. La función de policía debe ser realizable sin un coste excesivo.
2. Los parámetros de la función de policía deben ser ajustables por la función de control (del nivel de control).
3. El usuario debe negociar la función de policía y por lo tanto debe ser inteligible por él.
4. El nivel de control debe recibir información si la función de policía actúa.

Los niveles de control que debe tener la función de policía serán los siguientes:

1. No función de policía. Este sería el caso de circuitos alquilados con una capacidad determinada de transmisión o ancho de banda.

2. Policía aleatoria por circuito virtual. En general este método se adoptará por razones económicas. La probabilidad de detección del 100 % de las violaciones del contrato no será absoluta debido a la aleatoriedad de las actuaciones de la función de policía.

3. Policía por grupo de circuitos virtuales. En general se deberá de realizar este tipo de función de policía a todos aquellos circuitos virtuales que tienen la misma ruta. esto quiere decir que se actuará sobre el concepto de virtual path. Este procedimiento puede representar una ganancia estadística para el usuario [SAT91].

4. Policía por circuito virtual. Cuando un usuario tiene varias conexiones establecidas, esta seguirán distintas rutas en la red, y posiblemente con distintos destinos. Para asegurar que las características de estas rutas se mantiene con los parámetros establecidos será necesario actuar por cada circuito virtual separadamente. Este es el procedimiento generalmente considerado como mas adecuado por todos los autores.

5. Policía por usuario. este procedimiento sería útil para evitar interferencias de carga entre los distintos usuarios que comparten recursos, considerándolos como un todo en lo que se refiere a sus circuitos virtuales. En este caso no sería necesario reconocer los circuitos virtuales.

Estos diferentes procedimientos de función de policía nos conduce a discurrir cuál va a ser la ubicación de dicha función en la red.

Cuatro son las posibilidades ofrecidas:

1. Tan cerca como sea posible de la fuente. Este es el caso en que pretende conseguir un menor influencia entre usuarios. La señal digital de información llegará a la función de policía con el menor grado posible de multiplexación, reduciendo al mínimo el efecto jitter.

En este caso se necesitarán un gran número de unidades, y deberá ser capaz de efectuar la función de policía por circuito virtual en cada enlace.

Usualmente se limitará el número de circuitos virtuales que se podrán usar simultáneamente dependiendo de la clase de usuario, doméstico o de negocios.

2. Con una combinación de funciones de policía por usuario y por circuito virtual.

3. En todos los nodos de acceso a la red y por circuito virtual. Este caso protege la entrada a la red y el motivo de su ubicación en los nodos es por seguridad para que no pueda ser manipulado en ningún caso por el usuario. Esta es la ubicación elegida por la mayoría de autores.

4. En todos los puntos de la red en donde exista una multiplexación estadística. Aquí se considerará un conmutador N x M como M multiplexores de N entradas cada uno. Esta solución de ubicación es original de esta tesis y está relacionada con la propuesta que se efectúa en la misma del "Vigilante inteligente del tráfico". Esta propuesta de ubicación implica la existencia de funciones de policía en todos los nodos de acceso de la red por circuito virtual y en todos los nodos de tránsito de la red.

E5.2 Actuaciones

Las iniciativas que puede tomar la función de control de tráfico seran:

- . Retrasar celdas.
- . Marcar celdas con baja prioridad.
- . Realizar un cargo extra de facturación a la fuente infractora.
- . Renegociar con la fuente las características de la transmisión.
- . Controlar el flujo.
- . Descartar celdas.
- . Cortar la conexión.

De todo ello deberá informar al control del nivel superior de gestión de red, según el modelo ofrecido en esta tesis.

Las actuaciones de marcar celdas con baja prioridad, sin ninguna actuación mas se descarta en general por la mayoría de autores dada la complejidad que implica el tratamiento de prioridades que esto representaría.

Las actuaciones de retrasar celdas, aunque un principio se descartó como solución adecuada, en la actualidad a vuelto a surgir como solución válida. Estos son los procedimientos que estudiaremos mas adelante de "cell spacing".

E5.3 Clasificación de las funciones de policía

Las funciones de policía actualmente propuestas para la consecución de los fines mencionados y que están en fase de estudio para la red ATM se clasifican de la siguiente forma:

E.5.3.1 Nivel celda

- a) Sin modificar el flujo.

En este caso no se modifica en absoluto la generación de celdas por parte de la fuente, sino que se actúa sobre el flujo de celdas una vez generado.

Estas actuaciones se podrán hacer en función o no de la carga.

- Independientes de la carga.

Serán las funciones de policía mas habituales tales como:

- . Leaky Bucket
- . Moving window
- . Jumping window
- . Stepping window
- . EWMA
- . Gabarit
- . Delta
- . Combinaciones

- Dependientes de la carga.

Serán aquellas funciones en las que su aplicación depende del estado de la carga. Esta carga se podrá considerar de una forma centralizada (red) o distribuida (nodo):

- . Red . Métodos del tipo autorizaciones o "Permits"
- . Nodo. Vigilante inteligente del tráfico

b) Modificando el flujo.

Este método es uno de los emergentes en estos momentos y dadas las investigaciones actuales se perfila como una de las soluciones mas adecuadas. Consiste en la separación del flujo de celdas cuando ello es posible con el fin de reducir su agresividad. Es el método denominado "cell spacing".

E.5.3.2. Nivel ráfaga

Método basado en la reserva de recursos mediante protocolos rápidos denominados FRP/DT y FRP/IT.

E.5.4. Funciones de policía a nivel de celda sin modificar el flujo de datos.

E5.4.1 "Leacky bucket".

Esta función parece que es la que tiene hasta ahora más posibilidades de ser elegida como función específica de control de policía en la futura red ATM [RACb90].

Está basada en un modelo aplicable a redes con circuitos virtuales, formado por un contador que se incrementa cada vez que llega una celda de una conexión determinada y se

decrementa a una velocidad fija (valor medio de la velocidad de celdas), no permitiendo que dicho contador exceda de un cierto límite, activando si esto ocurre los mecanismos de control de sobrecarga [JON91].

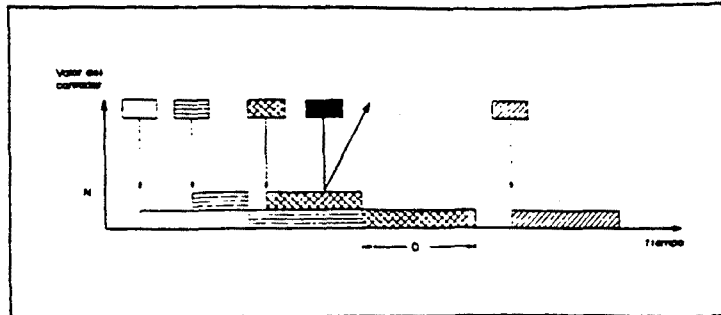


Figura E3. Leaky Bucket

El nombre de la función "leaky bucket" es muy descriptivo respecto a su funcionamiento. Los bits son introducidos en una cesta "bucket" antes de introducirlos en la red ATM. La velocidad de salida de esta cesta "leak" es constante. Si la cesta se rebosa se pierden todas las celdas que llegan posteriormente. El resultado de esta función es el de restringir la duración de los picos de la fuente.

El algoritmo de funcionamiento sería:

1. Se incrementa un contador (máximo N) a cada llegada de una nueva celda.
2. Si el valor del contador está en N se descarta la celda.
3. Se decrementa el contador (mínimo 0) a cada unidad fija de tiempo D .

Método para dimensionar el Leaky Bucket.

En el contrato entre el usuario y la red para la utilización de las funciones de policia, dos son los parámetros que indiscutiblemente deben contemplarse. Son el valor de pico y el valor medio de la transmisión que se pretende realizar. Está generalmente reconocido que el valor de pico de la velocidad de transmisión en celdas debe controlarse con la función de policia, aunque éste no necesariamente debe considerarse en su valor estricto como el inverso de la mínima separación entre celdas. Es necesario permitir el concepto de "Jitter" o desviación. Esto puede realizarse mediante la utilización de un Leaky Bucket con crédito limitado o bien introduciendo una velocidad virtual de pico la cual permite un máximo número de celdas en un corto intervalo de tiempo.

Para el valor medio indicado será necesario restringir los

usuarios negociando un valor medio virtual en el contrato. El valor medio virtual se define como el valor medio en un determinado intervalo de tiempo. Este intervalo de tiempo T es aquel en que el tráfico negociado debería ser respetado. Para permitir la máxima flexibilidad a la fuente, la escala de tiempo debería ser lo mas larga posible. Pero con el fin de restringir el tamaño de los contadores del sistema de policia y evitar situaciones de "overload", la escala de tiempos debe ser lo mas pequeña posible, pero no tanto que no refleje las propiedades de la fuente. Este es un compromiso que se debe de resolver.

Cuando se desea implementar un algoritmo de función de policia debemos considerar el tamaño de los contadores. Demasiado intervalo de tiempo para el cálculo de los valores medios requiere una gran cantidad de hardware. Cuando usamos el Leaky Bucket para realizar la función de policia restringiendo la longitud de las ráfagas por contrato, necesitaremos valores de bucket probablemente muy grandes [RACb90]. En estas condiciones si el "Leak" es igual al valor medio del tráfico de la fuente el tamaño del "bucket" vendrá dado por la siguiente expresión:

$$BS = \delta p \cdot Tb \left(1 - \frac{1}{b} \right)$$

donde :

δp = valor de pico de la velocidad de celdas

Tb = longitud de la ráfaga

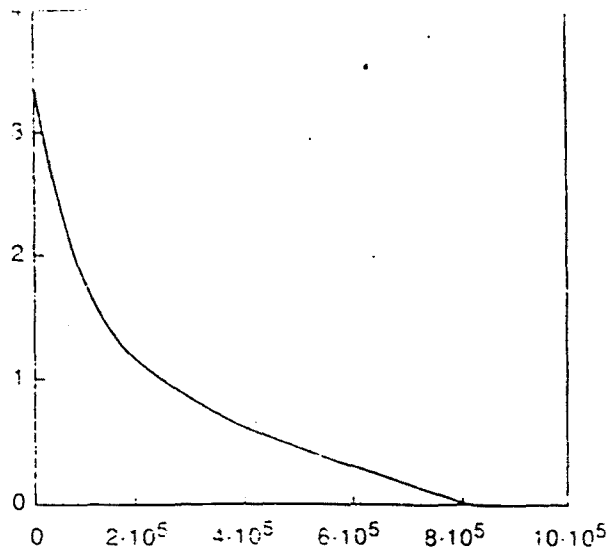
b = factor de rafagueo = $\left(\frac{\delta p}{\delta m} \right)$

δm = valor medio de la velocidad de celdas

Con una velocidad de pico de 140 Mbps, un rafagueo de 5 y una longitud de ráfaga de 1 segundo, caso que correspondería por ejemplo a una fuente de vídeo, necesitamos un tamaño de bucket de 290.000, que corresponde a un contador binario de 19 bits.

La mayoria de autores estudiados [SUR90] [HEI92] [GAL89] [BOY92] dimensionan el tamaño del Bucket definiendo previamente los servicios y estudiando empiricamente el comportamiento del Leaky Bucket, dando gráficas como la que se indica a continuación (figura E4)[HIL91], que permiten encontrar el tamaño del Bucket para una determinada probabilidad de error. En esta tesis, la parte H utilizará un método de dimensionamiento del Bucket para una QOS determinada basado en este esquema.

Celdas arrestadas (%)



Tamaño del bucket

Figura E4. Tamaño del bucket

"Análisis del Leaky Bucket"

Es posible modelar un sistema Leaky Bucket como una cola G/D/1/N [BUT91] [CAS91] con un tamaño finito N de cola. Cada circuito virtual tiene su propio contador inicializado en la fase de establecimiento de la llamada.

Los parámetros de control serán: El "Leak rate" que le llamaremos δ y la capacidad del contador que le llamaremos N en celdas o M en bits.

Supondremos que el proceso de llegada de celdas al sistema corresponde a un tráfico de ráfagas del tipo on/off, con una duración de ráfaga Z que es una variable aleatoria y una velocidad de transmisión de pico b en bits por segundo. Se supone que durante la ráfaga las celdas llegan periódicamente a fin de no considerar el posible "delay jitter" que se produciría por el hecho de multiplexar los distintos circuitos virtuales. La duración del periodo inactivo de la fuente será también una variable aleatoria y le denominaremos L.

En estas condiciones podemos caracterizar la fuente con los siguientes parámetros:

Velocidad de pico b
Duración media de ráfaga h
Duración media del silencio k
Rafagueo $\beta = (h + k) / h$
Velocidad media de la fuente $m = b \cdot h / (h + k)$
Duración media de un ciclo $c = h + k$
Longitud media de una ráfaga en bits $t = b \cdot h$

A) Estudio analítico. Modelo exacto

Durante una ráfaga de duración Z, se incrementa el contador en $Z \cdot b / l$ de celdas llegadas, y se decrementa $Z \cdot a / l$ de celdas sacadas por el "Leak", siendo l la longitud de la celda en bits.

Esto quiere decir que al final de la ráfaga el contador se ha visto incrementado en el siguiente valor:

$$Q = Z. (b - a)/l$$

En el mismo sentido y durante el periodo de silencio de duración L el contador se decrementa por :

$$R = L.a/l$$

siendo Q y R dos variables aleatorias discretas.

El estado del buffer X en los instantes correspondientes al empezar las ráfagas es una cadena de Markov, descrita por la siguientes ecuaciones dinámicas:

$$X_{t+1} = (X_t + Q - R)$$

Introduciendo $Q(x)$ y $R(x)$ como las funciones de distribución para Q y R, y $P(x)$ como la probabilidad del estado del buffer, obtenemos las siguientes ecuaciones de estado en condiciones estacionarias:

para $x = 0$

$$P(0) = \sum_{y=0}^{N-1} P(y) \left\{ \sum_{z=1}^{N-y} Q(z) \cdot \sum_{k=y+z}^{\infty} R(k) + \sum_{z=N-y+1}^{\infty} Q(z) \cdot \sum_{k=N}^{\infty} R(k) \right\} + P(N) \sum_{k=N}^{\infty} R(k)$$

para $0 < x < N$

$$P(x) = \sum_{y=0}^x P(y) \left\{ \sum_{z=N-y+1}^{N-y} Q(z) \cdot R(y+z-x) + \sum_{z=N-y+1}^{\infty} Q(z) \cdot R(N-x) \right\} + \sum_{y=x+1}^{N-1} P(y) \cdot \left\{ \sum_{z=1}^{N-y} Q(z) \cdot R(y+z-x) + \sum_{z=N-y+1}^{\infty} Q(z) \cdot R(N-x) \right\} + P(N) \cdot R(N-x)$$

para $x = N$

$$P(N) = 0$$

Esta última ecuación depende de los siguientes hechos:

1. Al final de cada ráfaga, el estado del buffer puede ser N

como máximo.

2. Se descarga por lo menos una celda durante el periodo de silencio.

Este sistema de ecuaciones planteado es homogéneo y puede resolverse numericamente.

La probabilidad de "overflow" del buffer, o sea la probabilidad de pérdida de celdas se puede expresar como una función de la probabilidad de estado por la siguiente fórmula:

$$B = \frac{b-a}{b} \cdot \frac{1}{E(Q)} \sum_{x=0}^N P(x) \sum_{z=N-x+1}^{\infty} (z+x-N) \cdot Q(z)$$

B) Estudio analítico. Modelo de aproximación de mecánica de fluidos

Un modelo ya estudiado como alternativa a la aproximación numérica es el correspondiente a la mecánica de fluidos [ROB88]. En este caso el flujo de bits se considera como una variable continua.

Y y X son los estados continuos del buffer en los instantes en los que llegan dos ráfagas consecutivas.

Durante la ráfaga de duración Z, el estado del buffer crece a un ritmo:

$$b' = b - a \text{ bps.}$$

Después de la ráfaga, durante el periodo de inactividad de duración L, el estado del buffer decrece a un ritmo de a bps.

En el instante en que empieza la ráfaga, el estado del buffer es una cadena de Markov, que podemos describir por la ecuación:

$$X = (Y + b' \cdot Z - a \cdot L)$$

Consideramos solamente el caso en que $a < b$, ya que de otra forma el buffer está siempre vacío.

Introducimos las siguientes funciones de distribución:

- F(x) Función de distribución de X: $P(X < x)$
- Fz(x) Función de distribución de Z
- FL(x) Función de distribución de L
- f(x) Función de densidad: dF/dx
- F*(x) Función de distribución complementaria: $1 - F(x)$

En condiciones estacionarias

$$F(x) = \int_0^x f(y)dy \cdot \int_0^{(x-y)/b^{\wedge}} fz(z)dz + \int_0^x f(y)dy \cdot \int_{(x-y)/b^{\wedge}}^{\infty} fz(z)dz$$

$$\cdot F*L\left(\frac{y+b^{\wedge}z-x}{a}\right) dz + \int_x^{\infty} f(y)dy \cdot \int_0^{\infty} fz(z)dz \cdot F*L\left(\frac{y+b^{\wedge}z-x}{a}\right) dz$$

El primer término de la ecuación se refiere al caso de que el estado del buffer sea menor que x, tanto al principio como al final de la ráfaga. En este caso no es necesaria ninguna condición para el periodo de silencio L.

El segundo término representa el caso del estado del buffer menor que x al principio de la ráfaga, y mayor al final. En este caso el periodo inactivo será lo suficientemente largo para llevar al estado del buffer por debajo de x antes de que llegue una nueva ráfaga.

El tercer término se refiere al caso de que el estado del buffer sea mayor que x al principio de la ráfaga.

Si consideramos el caso de un buffer con una capacidad limitada a M bits, si le llegan mas bits de los que puede contener es cuando se dará el caso de pérdida de celdas o bits. En condiciones estacionarias la anterior expresión se convertirá en:

$$F(x) = \int_0^x f(y)dy \cdot Fz\left(\frac{x-y}{b^{\wedge}}\right) + \int_0^x f(y)dy \int_{(x-y)/b^{\wedge}}^{(M-y)/b^{\wedge}} fz(z) \cdot F*L\left(\frac{y+b^{\wedge}z-x}{a}\right) dz +$$

$$\int_x^M f(y)dy \cdot \int_0^{(M-y)/b^{\wedge}} fz(z) \cdot F*L\left(\frac{y+b^{\wedge}z-x}{a}\right) dz +$$

$$\int_x^M f(y) F*z\left(\frac{M-y}{b^{\wedge}}\right) \cdot F*L\left(\frac{M-x}{a}\right) dy$$

Esta expresión se referiría al caso de buffer infinito. Ahora debemos considerar el caso de buffer limitado y por lo tanto de la posibilidad de saturaciones del mismo.

Asumimos una distribución exponencial para el periodo de inactividad L , e introduciendo la transformada de Laplace [BUT91] obtenemos después de varias manipulaciones matemáticas que la probabilidad de pérdida de bits durante una ráfaga será:

$$P = \int_0^M f(y) \bar{F}_z \left(\frac{M-y}{b} \right) dy = \frac{\Gamma_1 - \Gamma_2}{\Gamma_1 e^{E\{-(\Gamma_1-\Gamma_2)M\}} - \Gamma_2}$$

donde $\Gamma_1 = 1/h.b$ y $\Gamma_2 = 1/k.a$

y finalmente la relación de bits perdidos sobre el total de bits será:

$$B = \frac{b-a}{b} \cdot \frac{\Gamma_1 - \Gamma_2}{\Gamma_1 - e^{E\{-(\Gamma_1-\Gamma_2)M\}} - \Gamma_2}$$

considerando B como la probabilidad de pérdida en el Leaky Bucket.

Podemos ver que como conclusión hemos obtenido una expresión para la probabilidad de pérdida de celdas, en el caso de distribuciones exponenciales tanto para el intervalo de actividad como en el de silencio.

En los casos presentados de análisis del Leaky Bucket podemos observar que la probabilidad de pérdida estará en función del tamaño del bucket.

C) Análisis del comportamiento del Leaky Bucket por simulación

Para realizar este análisis utilizaremos el trabajo reflejado en [SUR90]. Q representa el valor del contador del Bucket, B_e es la velocidad de salida del bucket (leak), y B_m es la velocidad media de la fuente. El análisis se realiza utilizando dos tipos de fuentes.

a) Modelo de tráfico de ráfagas

Se alternan periodos de alta actividad con velocidad de pico, con intervalos de silencio. Los ejemplos mas conocidos de estas fuentes son la voz paquetizada y los servicios de imagen.

b) Modelo de tráfico con velocidad variable (VBR). Es un caso particular del anterior donde la velocidad de transmisión varía constantemente entre un mínimo y un máximo.

Se ha realizado un estudio del comportamiento del Leaky Bucket con ambos tráficos que resumimos a continuación.

A). Tráfico de ráfagas

Elegimos $B_p = 10$ Mbps

$B_m = 1$ Mbps

$b = 10$ (ráfagueo) ($b = B_p/B_m$)

$L = 100$ (longitud media de ráfaga en celdas)

$L = T / (ncell/B_p)$

$ncell = 53$ octetos ($48 + 5$)

La actividad y el silencio están distribuidos exponencialmente con medias T y $T(b-1)$ respectivamente.

Además $B_e = B_m$

$Q = L_{max}$ donde L_{max} es la máxima longitud de ráfaga.

En primer lugar podemos ver en la tabla siguiente el valor de Q para una determinada probabilidad de error.

Q (celdas)	$\log_{10}P$	Q_m (valor medio)
100	-0.370	26.58
200	-0.554	69.31
1000	-1.129	459.17
3000	-1.158	1456.79
5000	-1.798	2456.26
10000	-2.095	4955.79
50000	-2.791	24953.00
100000	-3.092	49945.24
1000000	-4.094	498926.57

Podemos elegir valores mayores para B_e tales como $B_e = cB_m$, donde $C > 1$. Esto es lo que algunos autores [RAT91] denominan "margen de seguridad". Esto produce un margen a su vez de incertidumbre en la detección de violaciones en la velocidad media transmitida.

Se ha elegido una GOS de $10E-05$ y se refleja en la tabla siguiente los resultados obtenidos. La consecuencia que se extrae es que el leaky Bucket se aproxima la comportamiento ideal cuando Q se incrementa y B_e decrece.

Q (celdas)	B_e (bps)	C	Q_m (valor medio)
200	8,012,745	8.013	3.2
2500	1,464,733	1.465	168.7
5000	1,180,517	1.181	443.7
10000	1,076,946	1.077	1047.1
100000	1,005,099	1.005	15693.3

En este trabajo se introduce el concepto de "Tiempo de reacción" que se utiliza para detectar y prevenir largas ráfagas. Se define como el tiempo medio T_f requerido para llenar el bucket después del inicio de una ráfaga. Este tiempo será el utilizado por los "tricky users" para burlar la función de policía [BOY91].

Una aproximación de este tiempo se refleja en la expresión siguiente:

$$T_f(\sigma) = \frac{(Q - \bar{Q})n_{cell}}{(\sigma - C)B_m} \quad \text{para } \sigma > C$$

$$T_f(\sigma) = \infty \quad \text{para } \sigma \leq C$$

Un valor grande de Q nos conduce a un tiempo de reacción largo. En otras palabras se necesita mas tiempo en detectar una ráfaga. Esto nos conduce a pensar que existe un compromiso entre la sensibilidad y la respuesta inmediata a saltos bruscos en la velocidad de transmisión. Una solución para resolver este problema sería la utilización simultánea de varios buckets con diferentes Q [SUR91] [HEM91]. Se podrían utilizar dos buckets, uno pequeño y otro grande. El primero detectaría grandes y repentinos saltos en la velocidad de transmisión y el segundo detectaría trampas pequeñas pero continuadas en los incrementos de la velocidad de transmisión.

B) Tráfico VBR

El tráfico elegido es un videoteléfono con los siguientes parámetros $B_p = 10.575$ Mbps y $B_m = 3.9$ Mbps.

En las mismas condiciones que en el caso anterior se puede indicar la siguiente tabla con los parámetros del leaky Bucket y la probabilidad de error para este tráfico.

Q (celdas)	$\log_{10}P$	Q_m (valor medio)
1000	-0.060	29.12
10000	-0.268	1721.99
100000	-2.325	16820.18
200000	-4.610	17378.48
300000	-6.895	17383.81
400000	-9.181	17383.85
500000	-11.466	17383.85

Comparando los resultados de ambos tráficos podemos observar que podemos conseguir los mismos resultados de pérdidas de celdas con mayores tamaños de colas y una alta reducción de velocidades de transmisión.

En este caso el tiempo de reacción se puede obtener asumiendo que la fuente podría generar continuamente celdas a la máxima velocidad hasta el llenado del leaky bucket. En estas condiciones el tiempo de reacción sería:

$$Tr = \frac{Q \cdot n_{cell}}{B_{max} - B_e} \quad \text{considerando estado inicial vacio}$$

$$Tr = \frac{(Q-Q) \cdot n_{cell}}{B_{max} - B_e} \quad \text{Considerando estado inicial valor medio}$$

La conclusión que podemos obtener del estudio precedente es que tenemos dos parámetros decisivos en el estudio del Leaky Bucket que son Q y B_e. Fijando uno podemos obtener el otro para una determinada Calidad de Servicio. Buckets pequeños proporcionan reacciones rápidas ante repentinas variaciones de la velocidad de transmisión, y buckets grandes proporcionan un mayor control de la velocidad media de entrada en la red.

E5.4.2 "Moving window".

Permite la llegada de un número determinado de celdas en un tiempo arbitrario T. Va sacando las celdas del sistema de policía una a una, un tiempo fijo T después de la celda aceptada mas antigua. Su principal característica es que será necesario almacenar el instante de tiempo en que se producen las llegadas de las celdas.

El algoritmo de funcionamiento será:

1. Se incrementa el contador para cada llegada de celda hasta un máximo de N.
2. Se descarta la celda si el valor del contador es N.
3. Se decrementa el contador en uno y saca la celda correspondiente por cada T unidades de tiempo desde la última celda aceptada residente en el sistema de policía.

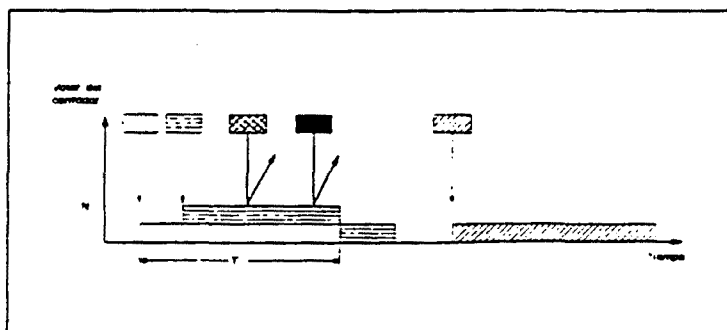


Figura E5. Moving Window

E5.4.3 "Jumping window".

Está basado en contar las celdas llegadas en un

intervalo determinado. Cuando se acaba el intervalo de tiempo, se pone a cero el contador, empezando un nuevo intervalo.

El algoritmo de funcionamiento será:

1. Se incrementa el contador para cada llegada de celda hasta un máximo de N , en un intervalo consecutivo de tiempo T (ventana).
2. Se descartan las celdas que lleguen cuando el contador valga N .
3. Se pone el contador a cero, sacando todas las celdas, al iniciarse un nuevo intervalo.

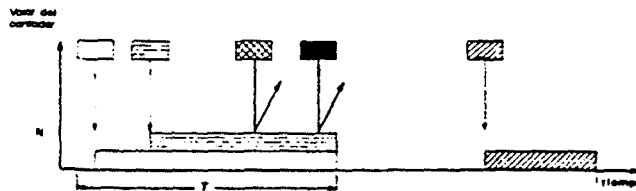


Figura E6. Jumping Window

E5.4.4 "Stepping window".

Es una versión del "Jumping window" en el que después de un periodo pasivo (sin llegada de celdas) mas grande que el tamaño de una ventana, se pone a cero el contador cuando se recibe la primera celda.

E5.4.5 EWMA ("Exponentially Weighted Moving Average").

Es una versión extendida del "Jumping window" en la que se tiene en consideración los tiempos de intervalo previos.

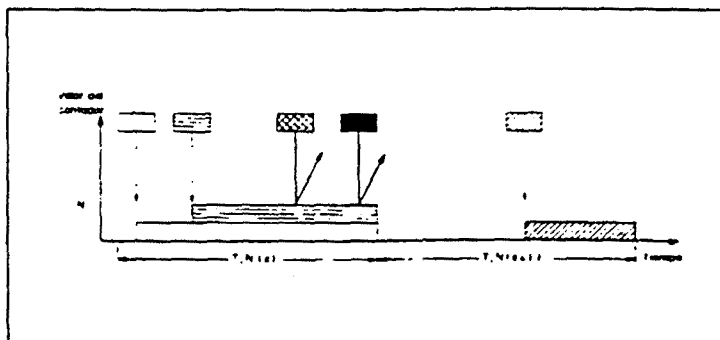


Figura E7. EWMA

Existirá un parámetro S que nos indicará el número de celdas a aceptar en la ventana, que se actualizará al final de cada intervalo de tiempo T (ventana).

$$S_n = (1 - a) X_n + a S_{n-1}$$

donde " X_n " es el número de celdas en el intervalo " n ", y " a " es una constante menor que 1. Pediremos que S sea más pequeño que un cierto valor S_{max} .

Para $a = 0$, EWMA será idéntico que el sistema "Jumping window".

El algoritmo de funcionamiento será:

1. Se definen intervalos consecutivos de tiempo (ventanas) de longitud T .
2. Se incrementa el contador para cada llegada hasta el valor máximo de $N(x)$.
3. Se descartan las celdas llegadas si el contador vale $N(x)$.
4. Se calcula al final de la ventana actual el máximo de celdas que se van a aceptar para la ventana siguiente $N(x+1)$, en función de la velocidad media de celdas ofrecidas por el sistema de policía y la suma ponderada exponencialmente de las celdas aceptadas en las ventanas precedentes, incluyendo la actual.

Variaciones sobre métodos con ventanas de duración ajustable lo encontramos en [HAH91].

Una variación de este método la encontramos en [AKY92] con el nombre de "Credit Banking mechanism".

E5.4.6 "The gabarit".

Es otra versión extendida del "Jumping window", donde el número de celdas en una ventana no está limitado por un número fijo, sino por una función de distribución Gausiana. Se utilizará un contador de créditos muy similar al "Leaky bucket" para limitar el número de intervalos de alta velocidad de celdas.

E5.4.7 Función Delta

Este es un procedimiento en el cual se cuentan las celdas en un periodo simple t , y se actualiza el contador cada vez que el número de celdas excede un valor predeterminado. Dentro de un tiempo de medida T se habilita un máximo permitido al contador. En este sentido la función Delta limita el intervalo en el que se permite a la fuente transmitir a una velocidad de transmisión por encima de un cierto límite. Es como una función de ventana con periodos intermedios.

E5.4.8 Combinaciones.

Es posible la utilización de algoritmos combinados de los anteriores. Estos pueden estar formados por diferentes ventanas con diferentes intervalos de tiempo o control de la velocidad máxima y media, con procedimientos Leaky bucket y algoritmos de valor de pico. Por ejemplo "Jumping Leaky Bucket" es una combinación de "Jumping Window" y "Leaky Bucket". La idea de este algoritmo es que opera contando el número de celdas en un intervalo determinado de tiempo (window) combinado con un simple mecanismo de crédito para cada ventana. En cada ventana un cierto número de celdas llega de acuerdo con el "Leak rate" del "Bucket".

Usando este último mecanismo es posible calcular el máximo número de celdas permitido en cada ventana al principio de cada ventana. Este método reduce la carga de proceso en un sistema ATM comparado con el "Leaky Bucket" normal. Esto es debido a que el "Jumping Leaky Bucket" solo actualiza el bucket al final de cada ventana, y no después de la llegada de cada celda como el Leaky Bucket normal. Este mecanismo se puede considerar muy general, ya que con un tamaño de ventana de un slot es igual que el Leaky Bucket normal y con un tamaño de bucket igual a cero corresponde al "Jumping Window".

E5.5. Algoritmos basados en Leaky Bucket modificado.

E5.5.1 Contador adaptativo

Este método tiene en cuenta las propiedades estadísticas de una fuente de n estados, aunque por simplicidad consideraremos exclusivamente el caso de fuente de dos estados.

Nos basaremos en un Leaky Bucket en el que incrementamos el contador cada vez que llega una celda y el tamaño del bucket es constante. El intervalo de tiempo en el que el contador se decrementa dependerá del estado de la fuente de dos estados.

El ritmo de decrementación $D_a = F_a / \delta_m$, donde $F_a \leq 1$, es mas pequeño que $1 / \delta_m$, donde δ_m es el valor medio de velocidad de celdas, en el caso del estado "on" de la fuente, suponiendo el caso de un tiempo de llegada interceldas menor o igual que D_a .

En el caso de estado "off", el ritmo de decrementación $D_s = F_s / \delta_m$, donde $F_s \geq 1$, es mayor que el ritmo de decrementación medio.

Con el fin de limitar δ_m se define un intervalo T (ventana), durante la cual se decrementa el contador exactamente X_a veces en intervalos de longitud D_a y X_s en intervalos de longitud D_s . Esto nos lleva a dos condiciones:

1. El número $X_a + X_s$ ha de ser igual al valor medio del número de decrementaciones dentro de la ventana. $T\delta m = X_a + X_s$

2. El tiempo $X_a D_a + X_s D_s$ que se necesita para $X_a + X_s$ decrementaciones se determina por T .

Dados los parámetros F_a , F_s , δm y T , las cantidades de X_a y X_s son fijas en la ventana.

Este mecanismo se puede extender a una fuente de n -estados introduciendo mas de dos intervalos de decrementación, aunque en este caso se prevee una gran dificultad de definición.

E5.5.2 Leaky Bucket con límite variable.

Este método utiliza un mecanismo de ventana para determinar el límite del contador del Leaky Bucket. Al final de la ventana $i-1$ el siguiente límite del contador N_i de la ventana i puede calcularse utilizando el algoritmo EWMA. Al final de la ventana no se realiza el reset del contador.

E5.5.3 Virtual Leaky Bucket.

El presente método está basado en la utilización de un sistema Leaky Bucket normal, pero con una actuación distinta en cuanto el contador llega a un estado de overflow [GAL89].

En el caso de que el contador llegue a su valor máximo las celdas serán marcadas como de prioridad baja en lugar de ser descartadas, y se deja a los mecanismos de control de congestión de los nodos la responsabilidad de eliminar estas celdas si fuera necesario.

El mecanismo propuesto tiene el siguiente algoritmo de funcionamiento en los nodos:

1. Si el buffer del nodo no está lleno se acepta la celda marcada.

2. Si el buffer del nodo está lleno y la celda está marcada, ésta se descarta.

3. Si el buffer está lleno y llega una celda no marcada, se realizará la sustitución de una posible celda marcada que esté esperando en la cola por la nueva celda.

4. Si el buffer del nodo está lleno y llega una celda no marcada y no hay ninguna celda marcada en la cola, se descartará.

La principal ventaja de este sistema sobre el Leaky Bucket normal es que las celdas generadas en exceso por la fuente solo son descartadas si es necesario, o sea cuando haya congestión en el nodo.

El principal inconveniente, aparentemente insoluble desde un punto de vista práctico de realización, es que introduce un

tratamiento de prioridades nuevo en las colas de espera de los nodos que dificulta mucho su tratamiento.

E5.6. Comparaciones entre los métodos

Las comparaciones realizadas entre las mas significativas funciones de policia están basadas en la utilización de fuentes artificiales como las indicadas en la parte C.

Para estudiar el comportamiento y la bonanza de cada uno de los métodos deben de analizarse en un entorno determinado, que previamente ha sido calculado para una QOS prefijada, y variar las condiciones de ese entorno para observar la reacción de las funciones de policia ante esa modificación.

Después de estas comparaciones que estudiaremos detalladamente, la conclusión mas importante que sacaremos es que no hay ningún método que destaque excesivamente de los demás, y que las condiciones de contorno van a ser determinantes. El método en el que todos los autores coinciden en señalar como relativamente mas eficaz en cualquier caso será el Leaky Bucket, y por ello es el seleccionado en principio [RACb90].

Estudiaremos la comparación realizada por [HEM91]. En ella se considera que el usuario ha realizado un contrato con la compañía operadora y en conjunto se cumplen los siguientes puntos:

- . Las fuentes deben ser capaces de proveer toda la información necesaria sobre su tráfico.

- . La red debería ser capaz de efectuar la función de policia sin excederse en los requerimientos de pérdidas de celdas.

- . Toda la información debería ser útil con respecto a la posibilidad de conseguir una eficaz ganancia de multiplexación.

En el modelo de simulación se utilizan fuentes de dos y tres estados, y se supondrán las fuentes atacando simultaneamente a un buffer de un nodo de conmutación. El tráfico será multiplexado previamente.

Se asume que diferentes funciones de policia requieren diferentes contratos y distintos dimensionamientos de parámetros.

El problema del Jitter que deformaría los resultados se consigue obviar introduciendo el concepto de velocidad de transmisión de pico virtual que se define como el máximo número de celdas dentro de un intervalo corto de tiempo. Con el fin de restringir el valor del contador y la probabilidad de situaciones de sobrecarga, la escala de tiempos debe ser tan pequeña como sea posible, pero no tanto que no refleje las propiedades de la

fuente.

Los casos estudiados son los siguientes:

A) Fuente de dos estados.

Un contrato típico para este tipo de fuente será el que tiene en cuenta lo siguiente:

1. Máxima duración permitida de la ráfaga.
2. Mínimo tiempo pasivo entre ráfagas.
3. Velocidad media de transmisión medida en un intervalo T.
4. Velocidad de transmisión de pico.

Los dos primeros criterios pueden ser controlados por una función de policía del tipo de ventana con un intervalo de tiempo igual a la máxima longitud de una ráfaga mas el mínimo tiempo pasivo.

Consideraremos el caso de longitud de ráfaga constante y con una velocidad de pico de 140 Mbps. Se investiga la reacción de las diferentes funciones de policía cuando se viola el contrato. Estas violaciones pueden hacerse incrementando la longitud de la ráfaga, reduciendo el tiempo pasivo entre ráfagas, o ambas a la vez. En todos estos casos se mantiene la velocidad de pico y lo que se varia es la velocidad media. La velocidad media virtual está controlada en un intervalo de 0.1 segundos. En la tabla siguiente se indican los resultados de tasa de error con funciones de policía sobre la velocidad media. Los valores indicados en la columna de Función de Policía ideal corresponde a valores calculados. Los valores contratados en todos los casos son de 1.0 ms de valor ON y de 2.0 ms. de valor OFF.

ON/OFF ms	FP Ideal	Stepping	Jumping	L. Bucket	Delta
1.0/2.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1.1/2.0	0.0623	0.0615	0.0603	0.0539	0.0662
1.5/2.0	0.2313	0.2260	0.2214	0.2161	0.2249
2.0/2.0	0.3398	0.3394	0.3332	0.3286	0.3355
1.0/1.5	0.1736	0.1733	0.1658	0.1600	0.1715
1.2/1.8	0.1667	0.1661	0.1659	0.1602	0.1707
3.0/0.0	0.6667	0.6666	0.6666	0.6643	0.6665

Otro caso a estudiar sería realizando una distribución geométrica de la duración en cada estado, formulando el contrato en los siguientes términos:

1. Máxima duración de la ráfaga 2 ms. dentro de un intervalo de 3 ms.

2. Velocidad virtual media de 35.8 Mbps en un intervalo de 100 ms.

3. Velocidad de pico de 140 Mbps.

Se ha estudiado este caso realizando unas violaciones sobre las condiciones y observando la reacción de las diferentes funciones de policía. Estas violaciones han sido:

Caso A: Incrementando la longitud de la ráfaga

Caso B: Decrementando el tiempo pasivo entre ráfagas

Caso C: Los dos casos anteriores a la vez

Caso D: Con transmisión continua a velocidad de pico.

Los resultados los podemos observar en la figura E8.

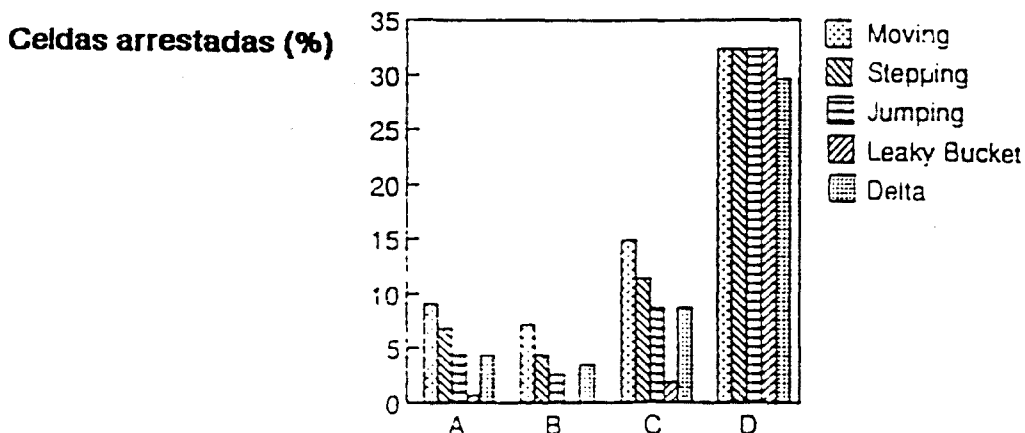


Figura E8. Comportamiento funciones de policía.

B) Fuente de tres estados.

La función de distribución del tráfico de la fuente elegida es como sigue:

1. 10 % del tiempo a 34 Mbps
2. 30 % del tiempo a 12 Mbps
3. 60 % del tiempo a 2 Mps

El intervalo de tiempo elegido por encima del cual se debe cumplir estas condiciones es de $T = 10$ segundos.

Se viola el contrato incrementando la duración del tiempo gastado en el estado de máxima velocidad de transmisión. Debido al comportamiento estocástico de la fuente no es posible determinar exactamente cuantas celdas puede descartar una función de policia ideal. Por el número de celdas producidas en cada periodo T , y la función de distribución de la fuente, se puede calcular un valor aproximado (mínimo) del montante de celdas que violan el contrato.

Se presentan dos casos de violación.

Caso A: Se incrementa la duración del estado de máxima velocidad de transmisión, y la duración de los otros estados se mantiene constante. Con ello se incrementa la velocidad media.

Caso B: Se incrementa la duración del estado de mayor velocidad de transmisión, y se reduce a cero la velocidad de transmisión del estado medio. En este caso la velocidad media se mantiene practicamente constante.

Los resultados están indicados en la figura E9.

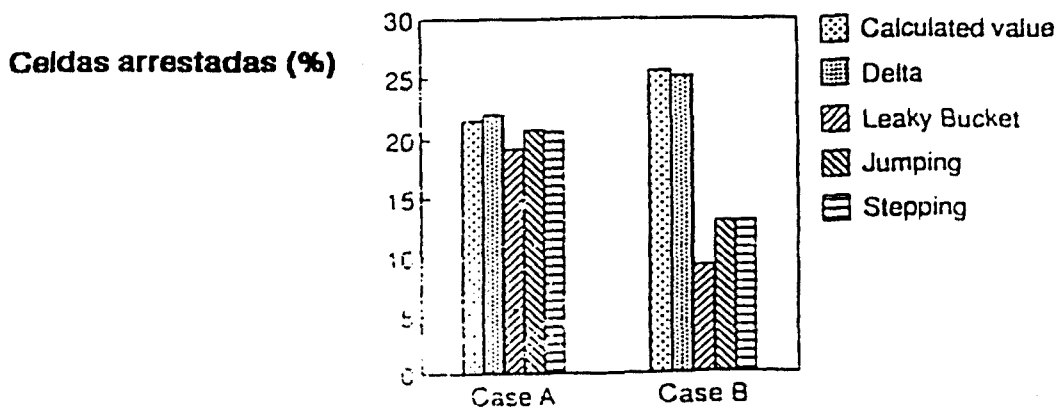


Figura E9. Comportamiento funciones de policia

C) Tráfico de videoconferencia.

Se utilizan secuencias de datos de un video codec que representan una videoconferencia. Se han utilizado diferentes funciones de policia para controlar el valor medio del ancho de banda requerido, por una fuente de este estilo. Este valor varia según sea el periodo de tiempo de observación T. En este estudio se ha elegido el valor de 50 segundos, aunque es un valor pequeño para una videoconferencia, pero es suficiente para dar flexibilidad a la fuente. Esta elección quiere decir que el codec puede tolerar pérdidas de celdas. El tráfico se incrementa incrementando el número de celdas enviadas en cada trama.

Se ha hecho el estudio con dos intervalos de tiempos $T = 50$ segundos y $T = 1$ segundo, realizándose este segundo caso para evitar tener que poner un Bucket excesivamente grande en la función Leaky Bucket.

Los resultados los podemos ver en la figura E10.

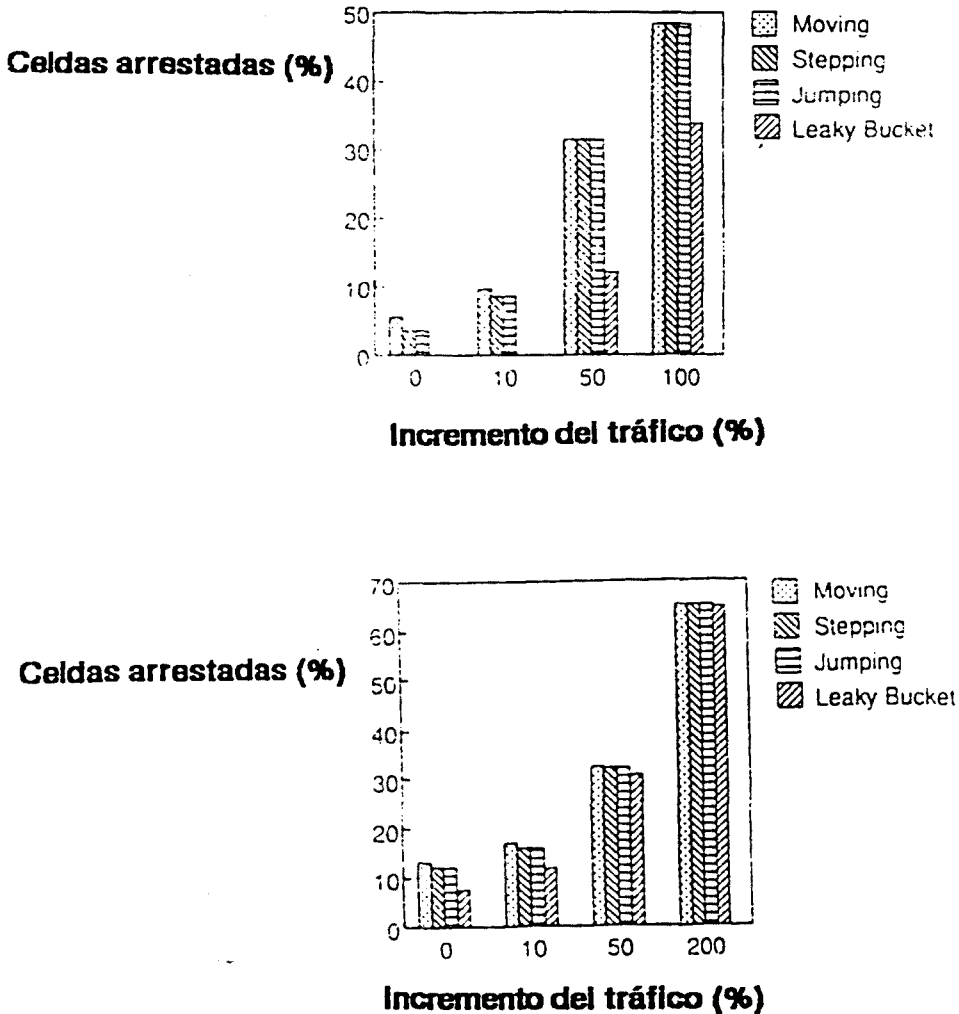


Figura E10. Comportamiento funciones de policia

La conclusión mas importante que se obtiene de este estudio es que generalmente no es posible realizar la función de policia de valores medios sin hacer restricciones en el periodo de medida, y si este se elige correctamente se puede utilizar indistintamente funciones del tipo ventana o del tipo Leaky Bucket, aunque en general el Leaky Bucket tiene un comportamiento satisfactorio en los entornos medidos.