

**Centro de Investigación Científica y de
Educación Superior de Ensenada**



**MODELADO DE LA INTEROPERABILIDAD DE
FRAME RELAY / ATM CON CIRCUITOS
VIRTUALES CONMUTADOS**

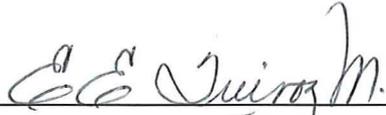
**TESIS
MAESTRIA EN CIENCIAS**

JOSE FRANCISCO MORA CARRANZA

Ensenada, Baja California, Mexico. Marzo de 1998.

TESIS DEFENDIDA POR
JOSÉ FRANCISCO MORA CARRANZA

Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITE

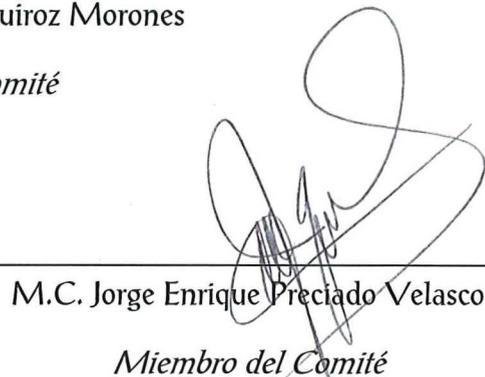


M.C. Ernesto Eduardo Quiroz Morones

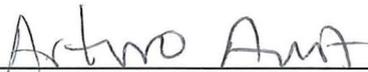
Director del Comité



Dr. José Gómez Valdés
Miembro del Comité



M.C. Jorge Enrique Preciado Velasco
Miembro del Comité



M.I. Arturo Arvizu Mondragón

Miembro del Comité



Dr. José Luis Medina Monroy

*Jefe del Departamento de Electrónica y
Telecomunicaciones*

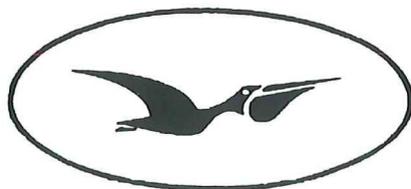


Dr. Federico Graef Ziehl

Director de Estudios de Posgrado

5 de marzo de 1998

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



CICESE

DIVISIÓN DE FÍSICA APLICADA

**DEPARTAMENTO DE
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**MODELADO DE LA INTEROPERABILIDAD DE
FRAME RELAY / ATM CON CIRCUITOS
VIRTUALES CONMUTADOS**

TESIS

Que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener
el grado de Maestro en Ciencias presenta:

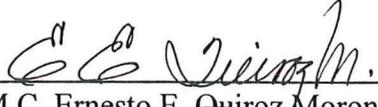
JOSÉ FRANCISCO MORA CARRANZA

Ensenada, Baja California, México. Marzo de 1998.

RESUMEN de la Tesis de José Francisco Mora Carranza, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES. Ensenada, Baja California, México. Marzo de 1998.

MODELADO DE LA INTEROPERABILIDAD DE FRAME RELAY / ATM CON CIRCUITOS VIRTUALES CONMUTADOS

Resumen aprobado por:


M.C. Ernesto E. Quiroz Morones
Director del comité de Tesis

Debido a los continuos avances en la capacidad de transporte de información, actualmente se ha dado la coexistencia de la tecnología Frame Relay (FR) con, la que se espera que venga a sustituirla, ATM (Asynchronous Transfer Mode). Pero como este proceso tomará años, es necesario resolver la problemática de comunicación entre ambas tecnologías.

En este trabajo se describe el funcionamiento y los protocolos tanto de la tecnología de Frame Relay como de la tecnología ATM. Teniendo en cuenta las similitudes de ambas tecnologías, y no obstante la incapacidad de una comunicación directa entre ambas, se define la interoperabilidad FR/ATM por medio de un conjunto de funcionalidades denominadas funciones de interoperabilidad (IWF). Habiendo ya en el mercado definidas IWF para el modo de conexión con PVC (Permanent Virtual Circuits), nos interesa la siguiente fase que es la aplicación de SVC (Switched Virtual Circuits) en la interconexión de redes Frame Relay con el uso de una dorsal ATM.

Para el análisis, se implementan tres modelos diferentes para la interconexión de tres subredes Frame Relay a través de una dorsal. En el primer modelo (PVC-FR) la dorsal se implementa, al igual que las subredes, con tecnología Frame Relay. Los otros dos modelos utilizan una dorsal ATM por lo que incluyen unidades de interoperabilidad (IWU). El segundo modelo (PVC-FR-ATM) utiliza la interoperabilidad de FR/ATM con PVC, definida en recomendaciones desarrolladas por los foros de FR y ATM. El tercer modelo (SVC-FR-ATM) incluye la interoperabilidad de FR/ATM con SVC definida en este trabajo.

Los modelos se desarrollan en el programa de simulación OPNET Modeler, para lo cual se crea un plan de simulación en el que se proponen tráficos para realizar un análisis de sensibilidad. Se enfoca a investigar el retardo extremo a extremo en los tres modelos, y el retardo de establecimiento de conexión en el modelo que utiliza SVC.

Los resultados arrojados por la simulación muestran que el retardo extremo a extremo cuando se utiliza dorsal FR es mayor que con dorsal ATM. En cuanto a los tiempos de establecimiento de llamada, se mantienen en un orden aceptable de decenas de milisegundos. No obstante se localizó una condición de "límite de tolerancia", en el caso del tráfico intenso, en el cual tal retardo de conexión promedio fue de alrededor de 0.5 seg.

Palabras clave: *Frame Relay, ATM, interoperabilidad.*

ABSTRACT of the Thesis of José Francisco Mora Carranza, presented as a partial requirement to obtain the MASTER IN SCIENCES degree in ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS. Ensenada, Baja California, México. March 1998.

FRAME RELAY / ATM INTERWORKING WITH SWITCHED VIRTUAL CIRCUITS MODELING

Continuous advances in the digital data transport capacity, have made available ATM (Asynchronous Transfer Mode) technology in a very short period of time. ATM networks are seen as the most suitable substitute for Frame Relay networks. Since the substitution process will take years, the need arises to implement the capabilities for the coexistence and interworking of ATM with Frame Relay.

Keeping in mind the similarities of both technologies, and nevertheless the inability of a direct communication between them, the present work undertakes the task of defining an Interworking Unit (IWU), by mean of a group of functionalities called Interworking Functions (IWF). Since the IWU for the PVC (Permanent Virtual Circuits) connection mode is already implemented by several providers, we focus on the use of SVC (Switched Virtual Circuits) to interconnect Frame Relay networks through an ATM backbone. Which is a current topic of work in international standardization bodies.

In order to analyze and validate the proposed SVC-IWU, three different FR-Backbone-FR networks are simulated. The first is a PVC-mode network where the backbone and the end-subnetworks are Frame Relay. The second model uses the PVC-IWU defined in recommendations (FR and ATM Forums) to interconnect an ATM backbone to two end-FR-networks. The third model uses the ATM backbone with the SVC-IWU defined in this work.

The three models are simulated with the OPNET Modeler application program. A simulation plan is developed in order to carry out an analysis of sensitivity, using different traffics behaviors. To prove the validity of the SVC-IWU the parameters selected are (a) The end to end delay, and (b) The connection establishment delay in the SVC model.

The output data from the simulations show that the end to end delay with a FR backbone is 45 msec. (av.) grater than with an ATM backbone (PC or SVC). Regarding call establishment delay, it remains in an acceptable order of tens of milliseconds. Nevertheless a condition of "limit of tolerance" was pinpointed in one of the intense traffic conditions, elapsing average connection setup delays in the order of 0.5 sec., suggesting further study of this condition in future work.

Keywords: *Frame Relay, ATM, interworking.*

DEDICATORIA

A mis Padres

**José Francisco Mora Alvarado y
Ma. Bertha Carranza de Mora**

*Por depositar siempre su confianza y apoyo en la realización de las
metas que me propongo*

A mis Hermanos

Jesús, Virginia y Daniel

AGRADECIMIENTOS

A Dios por todo lo que me brinda.

A mi amigo y director de tesis M.C. Ernesto Quiroz Morones por su confianza, amistad, consejos y sus valiosas aportaciones en este trabajo.

A los miembros de mi comité de tesis por su apoyo y valiosas aportaciones: M.C. Arturo Arvizu Mondragón, Dr. José Gómez Valdez y en especial a M.C. Jorge Preciado Velasco por su amistad y sugerencias aportadas al manuscrito.

A todos mis maestros que con su gran dedicación contribuyeron en mi formación para desarrollar esta maestría.

A mis compañeros y amigos de TELECOMUNICACIONES: Edith García, Héctor Felix, Jesús Bedoy, Luis Serrano, Raúl Rivera, Raúl Tamayo y Ricardo Solís, por la gran unión que desarrollamos durante todo este tiempo.

A mis compañeros y amigos de ALTAS FRECUENCIAS y CONTROL por su amistad brindada.

A todos los compañeros, amigos y personal del CICESE.

A Arnoldo Aguilar por ser mi amigo durante tanto tiempo y en especial durante estos años.

A Danténoc Alvarez, Roberto Polo y demás amigos que siempre estuvieron ayudándome.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo económico.

A México.

CONTENIDO

Página

I. INTRODUCCIÓN.....	1
I.1 ANTECEDENTES.....	1
I.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
I.3 OBJETIVO	4
I.4 METAS.....	4
I.5 INFRAESTRUCTURA EMPLEADA	4
I.6 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO	5
II. FRAME RELAY	6
II.1 INTRODUCCIÓN	6
II.2 ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS	8
II.3 PLANO DE USUARIO	9
II.4 PLANO DE CONTROL	11
II.5 CONTROL DE CONGESTIÓN.....	14
II.5.1 Administración de la tasa de tráfico para el control de descarte	15
II.5.2 Prevención de Congestión Explícita.....	17
II.5.3 Control de Congestión Implícita	18
III. MODO DE TRANSFERENCIA ASÍNCRONO (ATM)	19
III.1 INTRODUCCIÓN.....	19
III.2 CAPAS FÍSICA, ATM Y AAL	21
III.2.1 Capa Física.....	21
III.2.2 Capa ATM	23
III.2.3 Capa de Adaptación de ATM (AAL).....	27
III.3 PLANOS DE USUARIO Y CONTROL.....	30
III.3.1 Plano de Usuario.....	30
III.3.2 Plano de Control	30
III.4 CONTROL DE TRÁFICO Y CONGESTIÓN	35
III.4.1 Control de Tráfico.....	39
III.4.2 Control de Congestión	41

CONTENIDO (CONT.)

	<u>Página</u>
IV. INTEROPERABILIDAD DE FRAME RELAY / ATM.....	43
IV.1 INTRODUCCIÓN.....	43
IV.2 INTEROPERABILIDAD DE FRAME RELAY / ATM CON SVC.....	46
IV.2.1 Función de Interoperabilidad (IWF) para el Plano de Usuario.....	47
IV.2.2 Función de Interoperabilidad (IWF) para el Plano de Control.....	50
V. MODELOS PARA EL ESTUDIO DE LA INTEROPERABILIDAD DE FR/ATM CON SVC	55
V.1 DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS	55
V.2 IMPLEMENTACIÓN DE LOS MODELOS EN OPNET.....	57
V.2.1 Dominio de red	57
V.2.2 Dominio de nodo.....	59
V.2.3 Dominio de Proceso.....	63
V.3 PLAN DE SIMULACIÓN.....	65
V.3.1 Definición del tráfico	65
V.3.2 Determinación del tiempo de simulación del sistema.....	68
V.3.3 Intervalo de confianza.....	69
VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	70
VI.1 EFECTO DE LA IWU SOBRE EL DESEMPEÑO DE LA RED.....	70
VI.2 CARGA INTRODUCIDA AL SISTEMA	71
VI.3 RETARDO EXTREMO A EXTREMO	75
VI.4 RETARDO DE ESTABLECIMIENTO DE CONEXIÓN EN SVC	80
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
VII.1 RESUMEN	82
VII.2 CONCLUSIONES	83
VII.3 RECOMENDACIONES.....	85
LITERATURA CITADA	86
ANEXO A. CIRCUITOS VIRTUALES.....	88
ANEXO B. OPNET MODELER	90
ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES.....	94

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1.	Protocolos de Frame Relay.	8
2.	Formato de la trama de Frame Relay.	9
3.	Ejemplo del uso de DLCI.	10
4.	Procedimientos para el manejo de conexiones con el protocolo Q.933.	13
5.	Ejemplificación de los parámetros CIR, Bc y Be.	16
6.	Modelo de referencia de protocolo de B-ISDN.	20
7.	Protocolos de las capas B-ISDN.	21
8.	Visualización de canales y trayectorias virtuales.	23
9.	Configuración de referencia de la UNI y la NNI de ATM.	24
10.	Estructura de la celda de la UNI de ATM.	25
11.	Estructura de la celda de la NNI de ATM.	26
12.	Modelo genérico de subcapas de protocolo de AAL.	28
13.	Clases de servicio de ATM.	29
14.	Arquitectura del plano de control.	31
15.	Conexión virtual conmutada (SVC) punto a punto.	32
16.	Flujos principales de Q.2931 para una conexión punto a punto.	35
17.	Visión global del sitio de las funciones de control de tráfico/congestión.	38
18.	Topología y protocolos de la Interoperabilidad de red entre FR y ATM.	44
19.	Topología y protocolos de la interoperabilidad de servicio entre FR y ATM.	45
20.	Protocolos de: a) Frame Relay y b) ATM.	46
21.	Protocolos asociados a la interoperabilidad FR/ATM con SVC.	47
22.	Arquitectura interna de la IWU de FR/ATM.	47
23.	Formatos de PDU de la parte común de AAL-5.	48
24.	Traslación de PDUs de protocolos Q.933/Q.2931.	51
25.	Diagrama de referencia para el mapeo de identificadores de conexión.	53
26.	Topología de la interconexión de 3 subredes a través de una dorsal.	56
27.	Modelo de la interconexión de 3 subredes FR a través de una dorsal ATM.	57
28.	Modelo de la subred 1 de Frame Relay.	58
29.	Modelo de la Dorsal ATM.	58
30.	Modelo del a) conmutador Frame Relay y del b) conmutador ATM.	60
31.	Modelo del FRAD en a) PVC y en b) SVC.	60

LISTA DE FIGURAS (CONT.)

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
32.	Modelo de las IWU para a)PVC y b)SVC.	61
33.	Diagrama de transición de estados del módulo Q.933 del FRAD de SVC.	64
34.	Descripción de los parámetros utilizados para definir el tráfico.	65
35.	Visualización de la duración de llamada y el interarribo de llamada de los cuatro tipos de tráfico.	67
36.	Retardo extremo a extremo con respecto al tiempo.	68
37.	Promedio del retardo extremo a extremo con respecto al tiempo.	68
38.	Carga para los diferentes tipos de tráfico.	71
39.	Muestras del retardo extremo a extremo para el tráfico A.	73
40.	Muestras del retardo extremo a extremo para el tráfico B.	74
41.	Muestras del retardo extremo a extremo para el tráfico C.	74
42.	Muestras del retardo extremo a extremo para el tráfico D.	75
43.	Retardo extremo a extremo para el tráfico A.	76
44.	Retardo extremo a extremo para el tráfico B.	77
45.	Retardo extremo a extremo para el tráfico C.	78
46.	Retardo extremo a extremo para el tráfico D.	79
47.	Retardo de conexión para los diferentes tipos de tráfico.	80
48.	Dominios de desarrollo de OPNET.	91

LISTA DE TABLAS

<u>Tabla</u>		<u>Página</u>
I.	Estándares sobre Frame Relay.....	7
II.	Asignación de los DLCI.....	11
III.	Técnicas para el control de congestión en Frame Relay.....	14
IV.	Codificación del tipo de carga útil.....	26
V.	Funciones de control de tráfico y de congestión.....	36
VI.	Clases de QoS.....	39
VII.	Características de los FRADs.....	62
VIII	Características del conmutador Frame Relay.....	62
IX.	Características del conmutador ATM.....	62
X.	Características de la IWU.....	63
XI.	Valores para los parámetros utilizados para definir el tráfico.....	66

MODELADO DE LA INTEROPERABILIDAD DE FRAME RELAY / ATM CON CIRCUITOS VIRTUALES CONMUTADOS

I. INTRODUCCIÓN

I.1 ANTECEDENTES

Las redes de área local (LAN) han venido a satisfacer las necesidades de comunicación de usuarios que comparten recursos de cómputo en áreas pequeñas. A consecuencia de la necesidad de los usuarios de comunicar LANs de sitios distantes, han surgido nuevas tecnologías para la interconexión de estas redes creando lo que se conoce como redes de cobertura amplia (WAN).

Inicialmente las WANs fueron construidas utilizando los recursos existentes usados para tráfico de voz, los cuales operaban en forma analógica a bajas velocidades. Para lograr una transmisión de datos confiable, se desarrollaron las redes de conmutación de paquetes, como X.25. La tecnología X.25 fue diseñada con capacidades de corrección de error, de tal manera que cuando un nodo detecta error en los datos recibidos solicita una retransmisión al nodo que le envió. X.25 fue creado en un ambiente de red de líneas de cobre y conmutadores electromagnéticos propensos al ruido. Además los errores tenían que ser detectados y corregidos dentro de la red, debido a que el equipo de usuario típicamente no tenía inteligencia y gastaría tiempo de procesamiento realizando esta tarea. Los recursos de X.25 para transmisión de datos, aunado con sus capacidades inherentes de corrección de error, involucra un sobrecargo de operaciones que limita la eficiencia de la red, por lo cual solo maneja unas cuantas aplicaciones, tales como servicios interactivos del tipo de procesamiento de transacciones de punto de venta, en donde el aspecto más importante es la transmisión confiable de números de tarjeta de crédito y otra información financiera (no la velocidad); la transferencia de archivos a tasas bajas, etc.

Con la introducción de las fibras ópticas en las WANs la necesidad de poner en la red operaciones extra para protección contra errores disminuye notablemente, debido a las bajas tasas de error de bit de la fibra. Al mismo tiempo, han surgido dispositivos terminales con un alto nivel de inteligencia, procesamiento, y almacenamiento, haciéndolos más capaces en el manejo de control de error y protocolos diversos. Consecuentemente, el protocolo de comunicación usado sobre la red puede ser mucho más sencillo, permitiendo una mayor eficiencia.

De esta última idea surge Frame Relay, cuyo objetivo es eliminar sobrecargo innecesario, así como el procesamiento asociado en cada nodo de la red, para proveer transmisiones de datos con altas velocidades. La corrección de error y el control de flujo ya existe en las capas de red y transporte en la mayoría de los protocolos de comunicaciones de los dispositivos finales y esto puede ser delegado a los extremos de la red en lugar de a cada nodo a lo largo de la trayectoria.

Hoy en día, Frame Relay ha probado ser una tecnología muy exitosa para la interconexión de LANs, adoptado por una amplia base de usuarios con necesidades de transmisión de datos a tasas medias (64 kbps a 2.048 Mbps). No obstante, debido a los retardos variables introducidos por la red, presenta algunas limitaciones para transportar tráfico de voz, y no es óptimo para transmitir tráfico de video y otras aplicaciones sensitivas al retardo.

Para sustentar el gran aumento de los requerimientos de los usuarios para la transmisión de datos a tasas más altas y el surgimiento de una amplia variedad de aplicaciones con necesidades de multimedios, surge la tecnología llamada ATM.

Esta tecnología, ATM, está ganando impulso para la interconexión tanto de LANs como de WANs. Aunque la tecnología no está aún madura y es más costosa que Frame Relay presenta mejores perspectivas en el futuro cercano debido a sus altas tasas de transmisión (hasta 622.08 Mbps -estandarizado hasta Gbits-) y que además soporta tráfico

sensible al tiempo, como voz, video, audio, etc., permitiendo aplicaciones de multimedia y aplicaciones que requieran de un alto ancho de banda y altos niveles de calidad de servicio.

I.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De acuerdo con los antecedentes se observa a una tecnología que es ampliamente utilizada (Frame Relay), y una tecnología con grandes cualidades que está desarrollándose rápidamente (ATM).

No obstante, cuando se introducen nuevas tecnologías en la infraestructura pública de telecomunicaciones, en términos prácticos y financieros, no es posible reemplazar una tecnología por otra de la noche a la mañana. Hay siempre una situación de transición en la cual ciertos grupos son conectados al nuevo sistema, y otros permanecen conectados al ya existente. Por razones prácticas, es esencial el habilitar interconexiones entre las diferentes partes de la red. Posiblemente una nueva red nunca reemplazará completamente a la ya existente, por tal motivo surge la necesidad de asegurar la interconexión permanente de sus servicios soportados [RACE D421, 1994].

Debido a que las tecnologías Frame Relay y ATM coexistirán por un tiempo considerable es indispensable que se definan e implementen las especificaciones para la interoperación de dichas tecnologías [Sudhir and Stuart, 1996].

Se han definido estándares para asegurar la interoperación entre servicios de circuitos virtuales permanentes de Frame Relay y circuitos virtuales permanentes de ATM. Por otro lado, en cuanto a las capacidades de circuitos virtuales conmutados, en Frame Relay no han sido implementadas ampliamente, y en ATM se consideran como una característica imprescindible.

El éxito total de la interoperabilidad de Frame Relay / ATM dependerá en la definición de la interoperabilidad de Frame Relay / ATM con el uso de circuitos virtuales conmutados [Sudhir and Stuart, 1996].

I.3 OBJETIVO

El objetivo primordial es el de proponer un modelo para la interoperabilidad de Frame Relay / ATM con circuitos virtuales conmutados (SVC). Además, analizar los retardos de la transferencia de información de extremo a extremo de la red, y los retardos de establecimiento de conexiones por medio de técnicas y herramientas de simulación por computadora.

I.4 METAS

Para llevar a cabo el objetivo mencionado anteriormente, se plantean las siguientes metas:

- »»» Estudiar la tecnología Frame Relay.
- »»» Estudiar la tecnología ATM.
- »»» Estudiar la interoperabilidad Frame Relay / ATM con Circuitos Virtuales Permanentes.
- »»» Estudiar y proponer el modelo para la interoperabilidad de Frame Relay / ATM con Circuitos Virtuales Conmutados.
- »»» Elaborar modelos para realizar un análisis comparativo con el propuesto.
- »»» Implementar los modelos en el simulador OPNET (*OPTimized Network Engineering Tools*)
- »»» Probar el modelo y analizar los resultados de las simulaciones.

I.5 INFRAESTRUCTURA EMPLEADA

Para el análisis del modelo se ha utilizado la infraestructura del laboratorio de simulación de redes:

- »»» Estación de trabajo SUN SPARCstation 20, 64 MB de RAM, SunOS versión 5.4, OpenWindows versión 3.4.
- »»» Programa de simulación OPNET Modeler, versión 3.0B de la compañía Mil 3.
- »»» Computadora personal 486 DX-40, 16 MB de RAM, disco duro de 329 MB.

Para la recopilación de bibliografía :

- »»» Biblioteca del CICESE.
- »»» Biblioteca de la UCSD.
- »»» Acceso a Internet.

I.6 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO

El capítulo II presenta una descripción de los aspectos más importantes de la tecnología Frame Relay y en el capítulo III la descripción de la tecnología ATM.

En el capítulo IV se analizan los protocolos y funciones necesarios para la interoperabilidad de Frame Relay / ATM con SVC, y se propone la interoperabilidad tanto en el plano de usuario como en el plano de control en donde se utilizan técnicas de tunelaje y de traslación de protocolo respectivamente, siendo la parte primordial de este trabajo.

Posteriormente en el capítulo V, se describen brevemente los modelos implementados y el plan de simulación para probar el modelo propuesto. En el capítulo VI se muestran los resultados de las simulaciones así como el análisis de los mismos.

En el capítulo VII se plasman las conclusiones y recomendaciones surgidas a partir de este trabajo.

Al termino de los capítulos se presenta la literatura citada durante el escrito.

Además, se proporcionan dos breves anexos. El anexo A contiene la definición de circuitos virtuales, y en especial los PVC y los SVC, siendo estos conceptos, importantes para el mejor entendimiento de este trabajo. En el anexo B se describe el programa de simulación de redes de comunicaciones que se utilizó: *OPNET Modeler*.

Finalmente se presenta una lista de acrónimos y abreviaciones utilizados a lo largo de este documento.

II. FRAME RELAY

II.1 INTRODUCCIÓN

Las tres tecnologías más utilizadas para la transmisión de datos a niveles locales, nacionales e internacionales son, sin duda alguna, el X.25, Frame Relay y ATM [GS Comunicaciones, 1996]. Dichas tecnologías son utilizadas cada día más por los operadores públicos para ofrecer servicios de alta y baja velocidad, que buscan satisfacer las necesidades de interconexión de datos en redes de área local y redes de banda amplia, así como también la transmisión de voz, imágenes y video.

En México ya existen varias empresas de telecomunicaciones con infraestructura avanzada que son capaces de ofrecer una extensa gama de los servicios con estas tecnologías.

El X.25 es uno de los protocolos más utilizados en el mundo. Cuando X.25 se diseñó, la comunicación de datos a través de líneas existentes no era confiable ya que la mayoría estaban basadas en circuitos analógicos, los cuales son muy susceptibles a ruidos externos. Por lo tanto, se requería de un protocolo que fuera robusto y sobre todo seguro, a pesar de que los medios de transmisión no eran óptimos. Esto es precisamente lo que X.25 ofreció: comunicación y entrega garantizada de datos de un punto a otro, a nivel local, nacional e internacional.

Con la evolución de la tecnología y las mejoras de los medios de telecomunicación como consecuencia de la digitalización de los enlaces, se hizo evidente que la verificación de la integridad de las tramas de información en cada nodo ya no era necesaria. Este escenario dio origen al protocolo Frame Relay, el cual toma ventajas de los beneficios ofrecidos por la alta calidad de las líneas digitales y de fibra óptica existentes hoy en día. Aún cuando falta mucho por hacer, se puede decir que en México el proceso de digitalización de las líneas de comunicación avanza a pasos agigantados. Actualmente, existe una red de fibra óptica que cubre la mayoría de las ciudades del país. De igual

manera, algunos de los proveedores de servicios nacientes implementan sus propias redes de fibra óptica para ofrecer servicios de interconexión de alta calidad a sus usuarios. Uno de estos servicios es, sin lugar a dudas, el Frame Relay [GS Comunicaciones, 1996].

Frame Relay opera bajo el supuesto de que las conexiones son confiables y elimina gran parte del control y detección de errores de X.25, por lo que requiere menos procesamiento que éste.

Para poder mantener la simplicidad del mecanismo base de Frame Relay, se sigue una regla muy sencilla: si existe un problema con la trama (un error en algún bit de la trama, no esté definido el identificador de control de enlace de datos en la tabla de conmutación del nodo, etc.), simplemente se descarta.

Frame Relay es un servicio orientado a conexión en donde se requiere el establecimiento de una conexión, entre dos sistemas finales Frame Relay, antes de establecer una sesión de transferencia de datos. La conexión puede darse con circuitos virtuales permanentes (PVC) o con circuitos virtuales conmutados (SVC).

El comité T1S1 del ANSI publicó los estándares que describen la estructura de la trama, los procedimientos de señalización y la interfaz de Frame Relay. El CCITT después publicó los estándares equivalentes como se muestra en la Tabla I.

Tabla I. Estándares sobre Frame Relay.

Descripción	ANSI	CCITT
Descripción del Servicio	T1.606	I.233
Aspectos del Núcleo	T1.618	Q.922
Señalización de acceso	T1.617	Q.933

El estándar ANSI T1.606 lista cuatro ejemplos de aplicaciones que se beneficiarán con el servicio de Frame Relay:

- »»» *Aplicaciones interactivas de datos en bloque*: un ejemplo de este tipo de aplicaciones podrían ser las gráficas de alta resolución como en el diseño y manufactura asistido por computadora (CAD/CAM).
- »»» *Transferencia de archivos*: por lo regular transferencia de archivos grandes en donde se requiere alto desempeño.
- »»» *Multiplexión de tasa de bit baja*: este tipo de aplicaciones aprovechan las capacidades de Frame Relay para proporcionar un arreglo de acceso económico para un grupo grande de aplicaciones de tasa de bit baja.
- »»» *Tráfico interactivo de caracter*: como ejemplo de este tipo de tráfico se tiene la edición de texto y la transferencia de mensajes.

II.2 ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS

La Figura 1 muestra la arquitectura de protocolos para soportar el servicio de Frame Relay. Se consideran dos planos de operación: el *plano de control* que está involucrado en establecer y terminar las conexiones lógicas, y el *plano de usuario* responsable de la transferencia de la información de usuario.

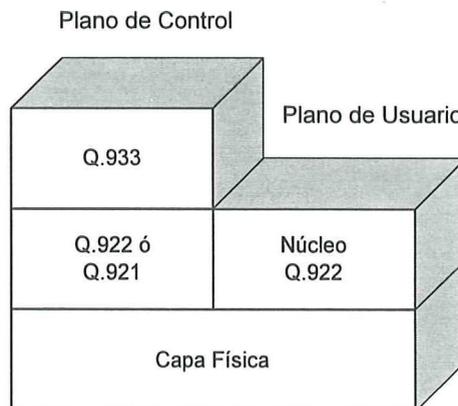


Figura 1. Protocolos de Frame Relay.

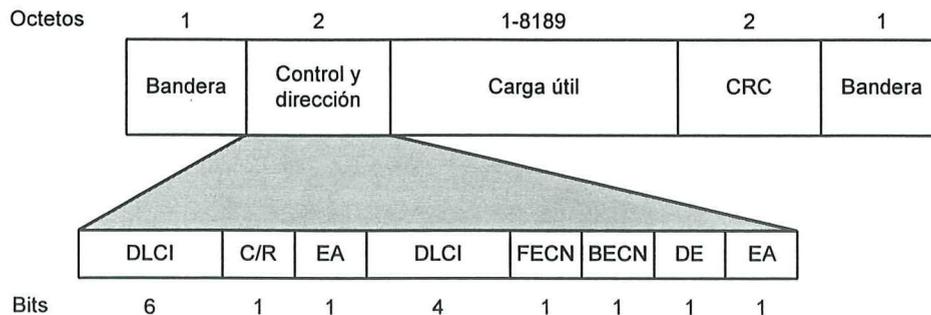
Las tasas de transmisión utilizadas en la capa física de Frame Relay van desde 64 Kbps hasta 2.048 (E1). Aunque los estándares definen tasas de transmisión hasta 44.736 Mbps (T3).

II.3 PLANO DE USUARIO

Las funciones del núcleo de Frame Relay son:

- »»» Delimitado de trama y transparencia de bandera.
- »»» Multiplexión y demultiplexión de circuito virtual.
- »»» Alineación de la trama a múltiplos de octetos.
- »»» Revisión del tamaño mínimo y máximo de las tramas.
- »»» Detección de errores de transmisión, formato y operación.

Frame Relay transporta la información de capas superiores encapsulándola dentro del campo de carga útil de la trama definida en Q.922 de la forma en que se muestra en la Figura 2.



Bandera = 01111110

CRC = Revisión de Redundancia Cíclica

DLCI = Identificador de Conexión de Enlace de Datos

C/R = Identificador de Comando / Respuesta

FECN = Notificación de Congestión Hacia Adelante

BECN = Notificación de Congestión Hacia Atrás

EA = Bit de Extensión de Dirección

DE = Elegibilidad de Descarte

Figura 2. Formato de la trama de Frame Relay.

Las *banderas* son usadas para identificar el principio y el fin de una trama. Las banderas tienen una secuencia de unos y ceros (01111110) por lo que hay que insertar (en el origen) y extraer (en el destino) bits en cualquier secuencia de bits similar al de las banderas para eliminar la confusión. El campo de *control y dirección*, o encabezado, contiene una

dirección ó DLCI, así como bits de control para extender el tamaño del encabezado y para notificación de congestión. El campo de *carga útil* contiene la información del usuario, ésta puede ser de 1 a 8189 octetos. El *CRC* es un código calculado sobre la trama y utilizado para detectar problemas de errores en la transmisión.

El significado de los campos del encabezado es el siguiente:

⇒ El *DLCI* identifica la conexión lógica de la trama dentro de un canal físico que es compartido. En la Figura 3 se ejemplifica el uso de DLCI.

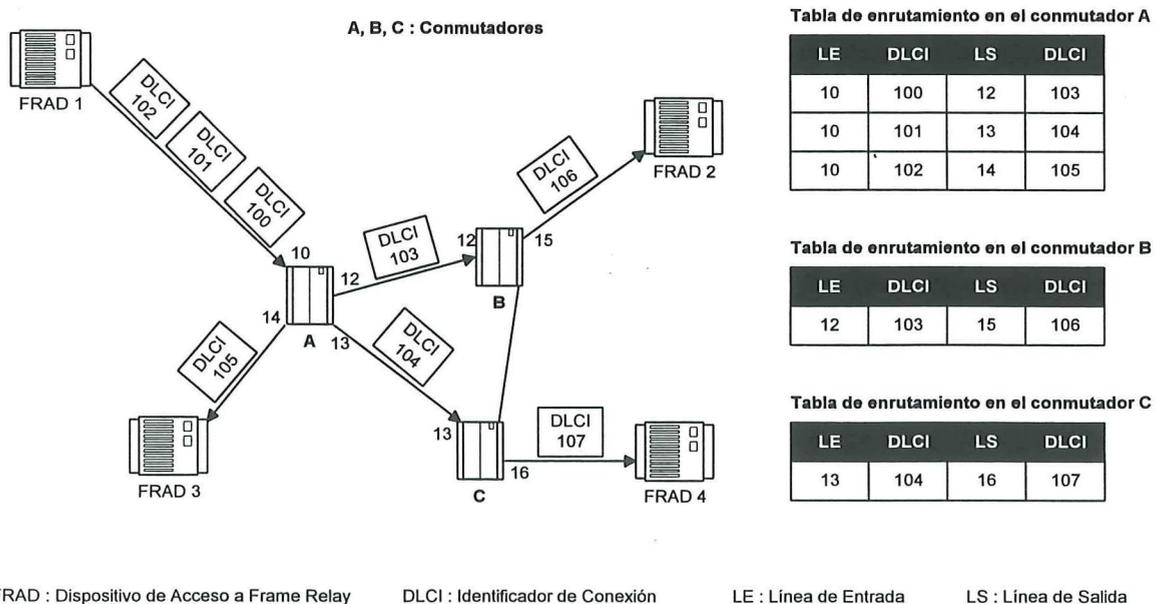


Figura 3. Ejemplo del uso de DLCI.

El tráfico de Frame Relay es intercambiado entre los usuarios de la red asociando los DLCIs de líneas de entrada a DLCIs de líneas de salida, mediante una tabla de enrutamiento programada en cada conmutador. En el modo de operación con PVC las tablas de enrutamiento son creadas de forma manual por el administrador y en el modo de operación con SVC estas tablas de enrutamiento se crean de manera automática en el momento de establecimiento de la conexión por medio de mensajes de señalización. En el ejemplo, el FRAD 1 envía tráfico a tres FRADs, la trama con el

DLCI 100 va hacia el FRAD2, la del DLCI 101 hacia el FRAD 4, y la del DLCI 102 hacia el FRAD 3.

Un canal soporta hasta 1024 conexiones lógicas; las tramas con el mismo DLCI son asociadas a una sola conexión lógica. Algunos de los DLCI están reservados, por lo que solo 991 DLCIs se dejan para las conexiones lógicas de usuario, como se muestra en la Tabla II.

Tabla II. Asignación de los DLCI.

Intervalo de DLCI	Uso
0	Reservado para señalización de control de llamada
1-15	Reservado
16-1007	Asignado para enlaces lógicos de usuario
1008-1022	Reservado
1023	Enlace lógico para la Interfaz de Administración Local

- » El *C/R* es un bit para uso específico de la aplicación y que por lo regular no se utiliza.
- » El bit *EA* provee la capacidad de aumentar el tamaño del encabezado de 2 a 3 ó 4 octetos incrementando el intervalo de los valores para DLCIs.
- » El bit *DE* se usa para indicar la prioridad de una trama sobre otras, en caso de que se presente un estado de congestión dentro de la red, en el cual se descartan las tramas con menor prioridad.
- » El *FECN* se utiliza para indicar al receptor que la trama que recibió encontró recursos congestionados.
- » El *BECN* avisa al transmisor que encontró recursos en congestión durante su trayectoria.

II.4 PLANO DE CONTROL

El plano de control se utiliza para el establecimiento de las conexiones por lo que solo es necesario cuando se utilizan SVC y no con PVC en el cual ya están preestablecidas las conexiones.

El ANSI y el ITU-T han publicado estándares para operaciones de SVC en Frame Relay en T1.617 y Q.933 respectivamente. Estos se han definido solo para conexiones punto a punto. Los mensajes definidos se transportan en el canal lógico identificado por el DLCI=0 (ver Tabla II) y son:

- »»» Mensajes de Establecimiento de llamada
 - ESTABLECIMIENTO
 - LLAMADA EN PROCESO
 - CONEXION
 - RECONOCIMIENTO DE CONEXION
- »»» Mensajes de Liberación de Llamada
 - LIBERACION
 - LIBERACION COMPLETA
- »»» Mensajes de Estado
 - SOLICITUD DE ESTADO
 - ESTADO (RESPUESTA)

El procedimiento que se realiza con el uso de estos mensajes se muestra en la Figura 4 y se explica enseguida:

El usuario (Sistema Final 1) envía un mensaje de ESTABLECIMIENTO a la red de Frame Relay. Este mensaje contiene la siguiente información:

- »»» DLCI asociado con la llamada.
- »»» Dirección explícita del destinatario¹.
- »»» Tamaño máximo de trama.
- »»» Tasa de información comprometida (CIR) solicitada.
- »»» Ráfaga comprometida (Bc) solicitada.
- »»» Ráfaga en exceso (Be) solicitada.

Cuando la red recibe el mensaje de ESTABLECIMIENTO regresa un mensaje de LLAMADA EN PROCESO. Durante este periodo la red examina los servicios solicitados en el mensaje de ESTABLECIMIENTO y determina si la llamada puede ser soportada.

¹ Es una dirección con el plan de numeración E.164, o en redes privadas se pueden usar también el plan de numeración X.21 ó direcciones IP.

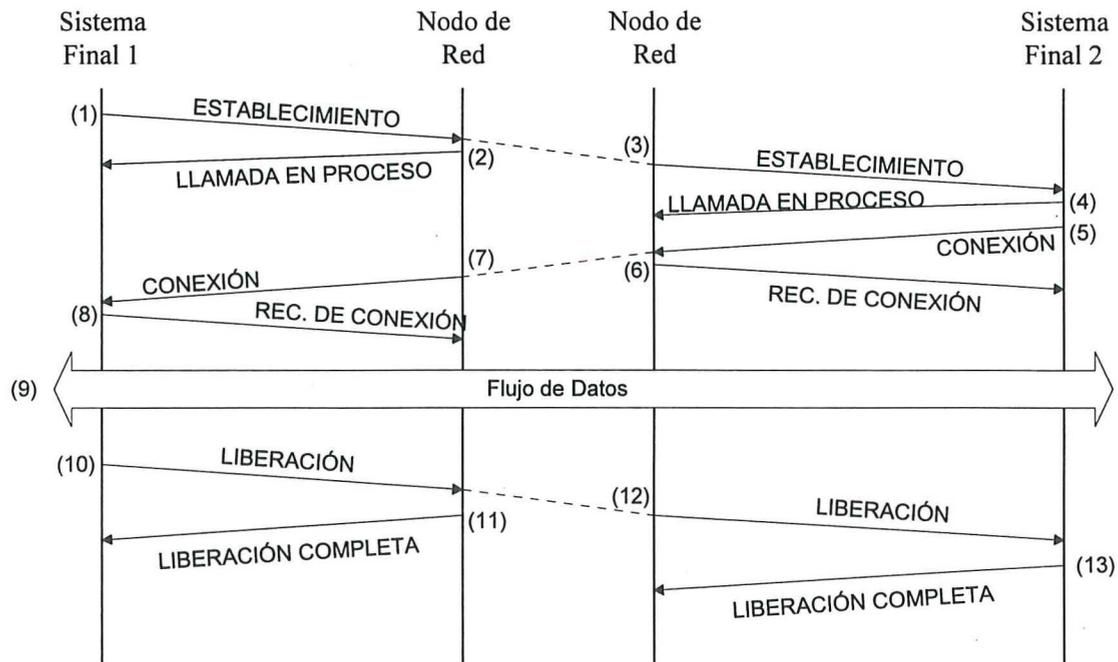


Figura 4. Procedimientos para el manejo de conexiones con el protocolo Q.933.

Si es así, el mensaje es retransmitido hasta el usuario destino (Sistema Final 2). Este usuario responde con un mensaje de LLAMADA EN PROCESO. Posteriormente, si la llamada es aceptada, envía un mensaje de CONEXIÓN a la red y la red responde con un RECONOCIMIENTO DE CONEXIÓN y retransmite el mensaje (de CONEXIÓN) al usuario que inicio la llamada. El usuario originador, al recibirlo, envía un RECONOCIMIENTO DE CONEXIÓN a la red.

Una vez que se han realizado estas acciones, la conexión queda establecida y los usuarios pueden comenzar a transmitir su información.

Para la liberación de conexión, un usuario inicia el proceso enviando el mensaje de LIBERACIÓN a la red, la cual confirma la desconexión con el mensaje LIBERACIÓN COMPLETA, y retransmite el mensaje de LIBERACIÓN hasta el otro usuario, el cual al recibir el mensaje confirma transmitiendo, a la red, el mensaje de LIBERACIÓN COMPLETA.

II.5 CONTROL DE CONGESTIÓN

En cada conmutador Frame Relay de la red, hay almacenadores temporales que sirven para guardar las tramas que arriban al conmutador mientras se libera el canal de salida, si éste se encuentra ocupado. Si la tasa a la cual arriban las tramas excede la tasa a la cual las tramas pueden ser transmitidas, la cola en los almacenadores crece indefinidamente. Como los almacenadores tienen una capacidad finita, al llenarse, las tramas que arriben en ese momento se descartarán. Por lo que es necesario, emplear ciertas técnicas para controlar el manejo de las tramas que arriban a un nodo.

Algunos de los objetivos con los que cumple el control de congestión en Frame Relay son:

- »»» Minimizar el descarte de tramas.
- »»» Sencillo de implementar.
- »»» Que el tráfico introducido a la red sea mínimo.
- »»» Distribuir los recursos de la red en forma adecuada entre los usuarios.

El control de congestión es una responsabilidad conjunta entre la red y el usuario final. La red esta en la mejor posición de monitorear el grado de congestión, mientras que los usuarios finales están en la mejor posición para controlar la congestión limitando el flujo de tráfico.

La Tabla III muestra las técnicas de control de congestión definidas en varios documentos del ANSI y el ITU-T.

Tabla III. Técnicas para el control de congestión en Frame Relay.

Técnica	Tipo	Elementos clave
Control de descarte	Estrategia de descarte	bit DE
Notificación de congestión explícita hacia atrás	Prevención de congestión	bit BECN ó mensaje CLLM
Notificación de congestión explícita hacia adelante	Prevención de congestión	bit FECN
Notificación de congestión implícita	Recuperación de congestión	Capa superior en los sistemas finales

Con la **estrategia de descarte**, cuando hay una congestión, la red está forzada a descartar tramas, y se desea hacerlo en una forma adecuada para los usuarios. Para lograr esto se utilizan las prioridades alta/baja indicadas en el bit DE.

Los procedimientos para la **prevención de congestión** se usan al primer indicio de congestión para minimizar los efectos en la red. Para esto se utiliza notificación explícita con el apoyo de los bits FECN y BECN, o bien, con el uso del mensaje de Administración de Capa de Enlace Consolidada (CLLM - explicado en II.5.2).

Los procedimientos de **recuperación de congestión** se usan para prevenir un colapso en la red cuando se tiene congestión severa. Estos procedimientos se inician típicamente cuando la red comienza a descartar tramas debido a la congestión. Esas tramas descartadas serán reportadas por alguna capa superior y servirán como mecanismo de notificación implícita .

II.5.1 Administración de la tasa de tráfico para el control de descarte

Para proporcionar una mejor asignación de recursos, el servicio de Frame Relay incluye el concepto de tasa de información comprometida (CIR). Esta es una tasa, en bits por segundo, que la red se compromete a soportar para una conexión en particular. Cualquier información transmitida en exceso al CIR está propensa a ser descartada en una situación de congestión. Aun así, aunque la red se “compromete” a entregar cierto CIR, no hay garantía de que lo haga. De cualquier forma, cuando se presenta el momento de descartar tramas, la red escogerá descartar tramas en conexiones que estén excediendo su CIR (identificadas por el bit DE) antes de descartar en las que si están dentro de su CIR.

Para conexiones con PVC, el CIR para cada conexión debe ser establecido a la hora en que la conexión es otorgada entre el usuario y la red. Para conexiones con SVC, el parámetro CIR debe ser negociado al tiempo de establecimiento.

Para dar mas flexibilidad en el manejo de la tasa de tráfico se hace uso de los siguientes conceptos adicionales:

- »»» *Ráfaga comprometida (Bc)*: cantidad máxima de datos que la red se compromete transferir, bajo condiciones normales, sobre un intervalo de tiempo T .
- »»» *Ráfaga de exceso (Be)*: cantidad máxima de datos en exceso a Bc que la red tratará de transferir, bajo condiciones normales, sobre un intervalo de tiempo T .

Las cantidades Bc y CIR están relacionadas de la siguiente manera:

$$T = \frac{Bc}{CIR} \quad (1)$$

La Figura 5 ilustra la relación de estos parámetros.

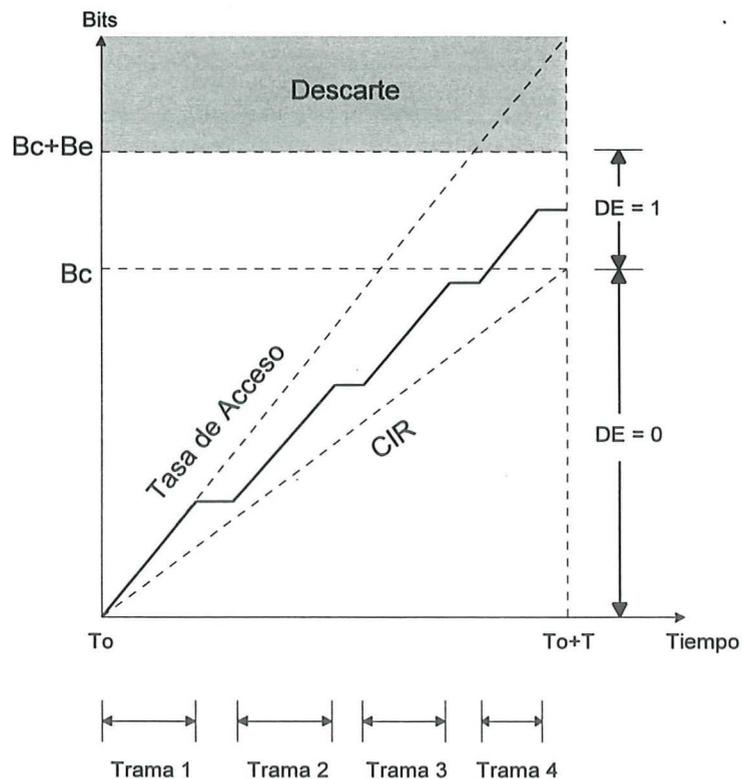


Figura 5. Ejemplificación de los parámetros CIR, Bc y Be .

La línea sólida de la gráfica representa el número acumulado de bits transferidos sobre una conexión desde el tiempo T_0 . Cuando una trama se transmite, la línea sólida es paralela a la línea de la tasa de acceso, ya que el canal está dedicado a la transmisión de esa trama. Cuando no hay trama que transmitir, la línea sólida es horizontal. En el ejemplo puede verse, que la última trama transmitida durante el intervalo de tiempo T causa que el número acumulado de bits transmitidos exceda el B_c . Por lo que, el bit DE en esa última trama se pondrá en 1, teniendo, de esta forma, menor prioridad que las demás tramas que tienen el bit DE en cero.

También es posible establecer una conexión con CIR igual a cero, cuando se tiene un B_e mayor a cero. Esto significa que la red no se compromete a transferir tramas para esta conexión, pero si hay capacidad lo hará. Con CIR igual a cero, no es posible usar la ecuación anterior (1) para definir el intervalo de medida T .

Por lo que, en este caso se utilizará la ecuación:

$$T = \frac{B_e}{\text{Tasa de Acceso}} \quad (2)$$

II.5.2 Prevención de Congestión Explícita

En la prevención de congestión explícita, cuando la red detecta cierta congestión dentro de la red, informa de este hecho a los sistemas finales de las conexiones afectadas para que estos reduzcan la carga ofrecida a la red. La forma de avisar es mediante el uso de los bits FECN y BECN del campo de control del encabezado de la trama de Frame Relay.

Además de estos bits, la red puede usar el mensaje de *administración de capa de enlace consolidada* (CLLM), una variación de la notificación con el uso del bit BECN, cuando ocurre congestión en un nodo de la red y no hay tráfico disponible en el flujo contrario para poder usar el bit BECN. El mensaje CLLM es transportado en el campo de información de una trama de Frame Relay con el DLCI igual a 1023 para diferenciarla de las demás tramas.

II.5.3 Control de Congestión Implícita

La notificación implícita ocurre cuando la red descarta una trama y este hecho lo detecta el usuario final en capa superior. Por ejemplo, cuando utilizan técnicas de flujo de ventana deslizante [Stallings, 1995] el protocolo detecta la pérdida de una trama cuando se recibe un paquete con una numeración no esperada, o bien, no se recibe un reconocimiento de que el paquete llegó bien. En este momento los sistemas finales se percatan de una posible congestión en la red.

De igual forma, los sistemas finales pueden monitorear el retardo extremo a extremo, cuando este retardo aumente significativamente será una señal de cierta congestión en la red.

III. MODO DE TRANSFERENCIA ASÍNCRONO (ATM)

III.1 INTRODUCCIÓN

El crecimiento explosivo de las interconexiones entre redes locales (LANs) da lugar al surgimiento de redes de banda ancha (WAN), no obstante, las WAN enfrentan cuellos de botella que limitan las capacidades potenciales que ofrecen. El incremento de las aplicaciones de banda ancha y multimedia y el deseo de integrar voz, datos y video en una infraestructura común de comunicaciones, contribuye a su vez a estos cuellos de botella. Una red global que no sea afectada por distancias geográficas exige una infraestructura de conmutación de transmisión que sea capaz de manejar la demanda creciente de mayor capacidad [RAD, 1996].

Se ha elegido la tecnología ATM, por el ITU-T, el ANSI, y el Foro de ATM, como la técnica de multiplexado y conmutación para la red digital de servicios integrados de banda ancha (B-ISDN) a fin de atender las necesidades de las redes de comunicaciones de alta velocidad y múltiples servicios. Se ha elegido a ATM por su flexibilidad a la hora de admitir servicios de comunicaciones con diferentes características de transferencia. Puede llevar servicios de velocidades constantes o variables, servicios isócronos (voz/video) o asíncronos (datos), así como soportar servicios orientados a las conexiones o sin conexiones. El entorno de conmutación ATM es independiente de la velocidad de datos y admite la conmutación tanto de redes públicas como de redes de área local a velocidades altas.

ATM segmenta y multiplexa el tráfico del usuario dentro de paquetes de longitud fija llamados *celdas*. Una celda está formada por 53 octetos, 5 octetos reservados para el encabezado de la celda. Cada celda es diferenciada con identificadores de circuito virtual (VCI) que están contenidos en el encabezado de la celda. Una red de ATM usa estos identificadores para enrutar el tráfico a través de conmutadores de alta velocidad desde el equipo base del cliente (CPE) transmisor hasta el CPE receptor.

ATM es una tecnología orientada a conexión, la cual es proporcionada mediante circuitos virtuales permanentes (PVC) o circuitos virtuales conmutados (SVCs). Los servicios orientados a conexión y los servicios orientados a no conexión se manejan, por ATM, a través del uso de capas de adaptación.

ATM ofrece muy altas tasas de transmisión y soporta múltiples clases de Calidad de Servicio (QoS) para diferentes requerimientos de las aplicaciones.

En la Figura 6 se muestra el modelo de referencia de protocolo de B-ISDN

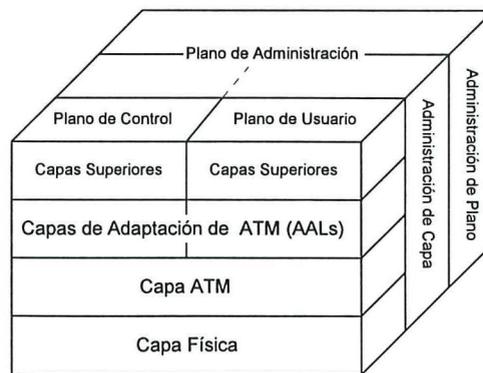


Figura 6. Modelo de referencia de protocolo de B-ISDN.

El modelo de B-ISDN contiene varios planos. El plano del usuario es responsable de proporcionar la transferencia, el control de flujo, y la recuperación de la información de usuario. El plano de control es responsable de establecer/liberar y supervisar las conexiones.

El plano de administración tiene dos funciones: la administración de planos y la administración de capas. La administración de plano es responsable de la coordinación de todos los planos. La administración de capa es responsable de manejar las entidades en las capas y desarrollar servicios de operación, administración y mantenimiento (OAM).

La Figura 7 es una versión de la Figura 6 en un sentido más pragmático. En el plano de control se tiene el protocolo de señalización Q.2931 que se usa para establecer conexiones en ATM. Por debajo de Q.2931 se encuentra la capa de adaptación ATM de señalización (SAAL) para soportar el transporte de los mensajes de Q.2931 entre dos máquinas cualquiera que estén utilizando circuitos virtuales conmutados de ATM.

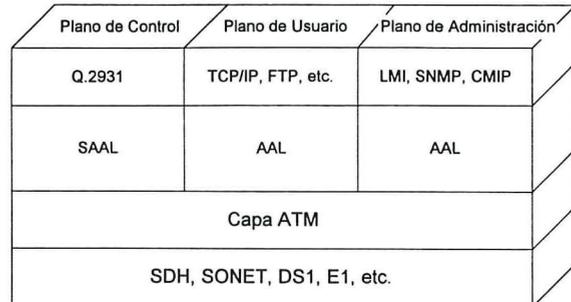


Figura 7. Protocolos de las capas B-ISDN.

En medio de la figura se encuentra el plano de usuario, el cual contiene protocolos específicos de usuario y aplicaciones, como por ejemplo TCP/IP, FTP, etc.

El plano de administración proporciona servicios de administración, y se implementa con la Interfaz de Administración Local de ATM (LMI), el Protocolo Sencillo de Administración de Red (SNMP), ó el Protocolo de Información de Administración Común (CMIP).

III.2 CAPAS FÍSICA, ATM Y AAL

Las capas principales del modelo de referencia del protocolo de transporte de B-ISDN son: la capa física (PHY) en donde se especifican las interfaces y medios físicos, la capa ATM que es donde se crea la estructura de la celda, y la capa de adaptación de ATM (AAL) que proporciona el soporte para servicios de capa superior tales como emulación de circuitos, Frame Relay, y SMDS.

III.2.1 Capa Física

La capa física proporciona la transmisión de celdas de ATM sobre un medio físico que conecta a dos dispositivos de ATM. La capa física esta dividida en dos subcapas: la subcapa Dependiente del Medio Físico (PMD) y la subcapa de Convergencia de Transmisión (TC). La subcapa PMD se provee para la transmisión de los bits de las celdas de ATM. La

subcapa TC transforma el flujo de celdas a un flujo continuo de bits para la transmisión sobre el medio físico.

III.2.1.1 SUBCAPA DEPENDIENTE DEL MEDIO FÍSICO (PMD)

Hay tres grupos de estándares que han definido la capa física para el soporte de ATM: El ITU-T, el ANSI, y el foro de ATM. Aquí solo se mencionan las especificaciones del ITU-T.

La recomendación I.432 define dos interfaces ópticas basadas en la jerarquía digital síncrona (SDH) para ATM, las cuales son:

- »»» STM-1 a 155.520 Mbps.
- »»» STM-4 a 622.08 Mbps.

El ITU-T, además, estandariza interfaces eléctricas de los siguientes tipos y velocidades:

- »»» DS1 a 1.544 Mbps.
- »»» E1 a 2.048 Mbps.
- »»» DS2 a 6.312 Mbps.
- »»» E3 a 34.368 Mbps.
- »»» DS3 a 44.736 Mbps.
- »»» E4 a 139.264 Mbps.

III.2.1.2 SUBCAPA DE CONVERGENCIA DE TRANSMISIÓN (TC)

La subcapa TC básicamente transfiere las celdas de ATM a un formato de trama de multiplexión por división de tiempo (TDM). En la recepción, debe delinear las celdas individuales del flujo de bits recibido, ya sea de la trama TDM directamente, o a través del campo HEC del encabezado de la celda ATM.

Otras funciones de la TC incluyen la generación del HEC para la detección y corrección de errores en la recepción, y el acople² de la tasa de las celdas cuando la capa de ATM no proporcione una celda. Esta función de acoplamiento de velocidad se requiere

² La recomendación I.321 pone esta función en la subcapa TC de la capa física y utiliza celdas de relleno, mientras que el Foro de ATM la pone en la capa ATM y utiliza celdas no-asignadas.

cuando se utilizan medios físicos que tienen ranuras de tiempo de celdas síncronas (ej: DS3, SONET, SDH), mientras que los medios asíncronos no la requieren (ej: PMD de FDDI).

III.2.2 Capa ATM

La capa ATM proporciona varias funciones, incluyendo:

- »»» Construcción de la celda.
- »»» Recepción de la celda.
- »»» Conmutación de la celda utilizando el VPI/VCI.
- »»» Multiplexión y demultiplexión de celdas usando el VPI/VCI.
- »»» Discriminación del tipo de carga útil de la celda.
- »»» Interpretación de los valores predefinidos del encabezado.
- »»» Procesamiento de la prioridad de pérdida de la celda.
- »»» Soporte para múltiples clases de QoS.
- »»» Control de parámetro de uso (UPC).
- »»» Indicación de congestión explícita hacia adelante (EFICI).
- »»» Control del flujo genérico.
- »»» Establecimiento y liberación de conexión.

III.2.2.1 TRAYECTORIAS Y CANALES VIRTUALES

Las conexiones lógicas en ATM son conocidas como canales virtuales (VC). Éstos permiten el transporte unidireccional de celdas ATM entre dos dispositivos.

Una trayectoria virtual (VP) está formada por un grupo de canales virtuales que tienen los mismos puntos inicial y final. Esto es, todas las celdas de todos los canales virtuales en una trayectoria virtual son conmutadas juntas.

Las relaciones de estas conexiones de ATM pueden visualizarse en la Figura 8.

Una conexión de canal virtual (VCC) proporciona la transferencia de celdas de extremo a extremo entre los usuarios de ATM. Cada punto final

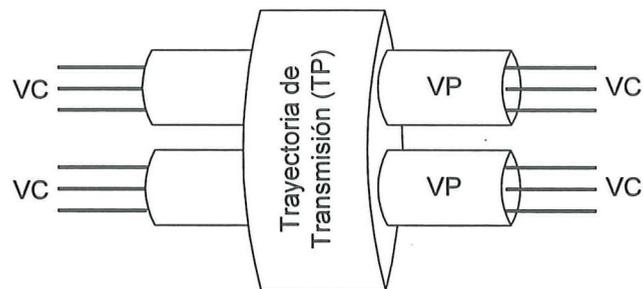


Figura 8. Visualización de canales y trayectorias virtuales.

asocia un identificador de canal virtual (VCI) único con cada VCC. Dentro de la red, pueden haber un número de puntos en los cuales los canales virtuales son conmutados, y en esos puntos el VCI puede cambiar. Por lo que, un VCC consiste de la concatenación de uno o más enlaces de canal virtual.

III.2.2.2 INTERFAZ DE USUARIO A RED E INTERFAZ DE RED A RED EN ATM

La capa ATM distingue entre la interfaz de usuario a red (UNI) y la interfaz de red a red (NNI). En la Figura 9 puede observarse la terminología utilizada por el Foro de ATM para la configuración de referencia de la UNI y NNI.

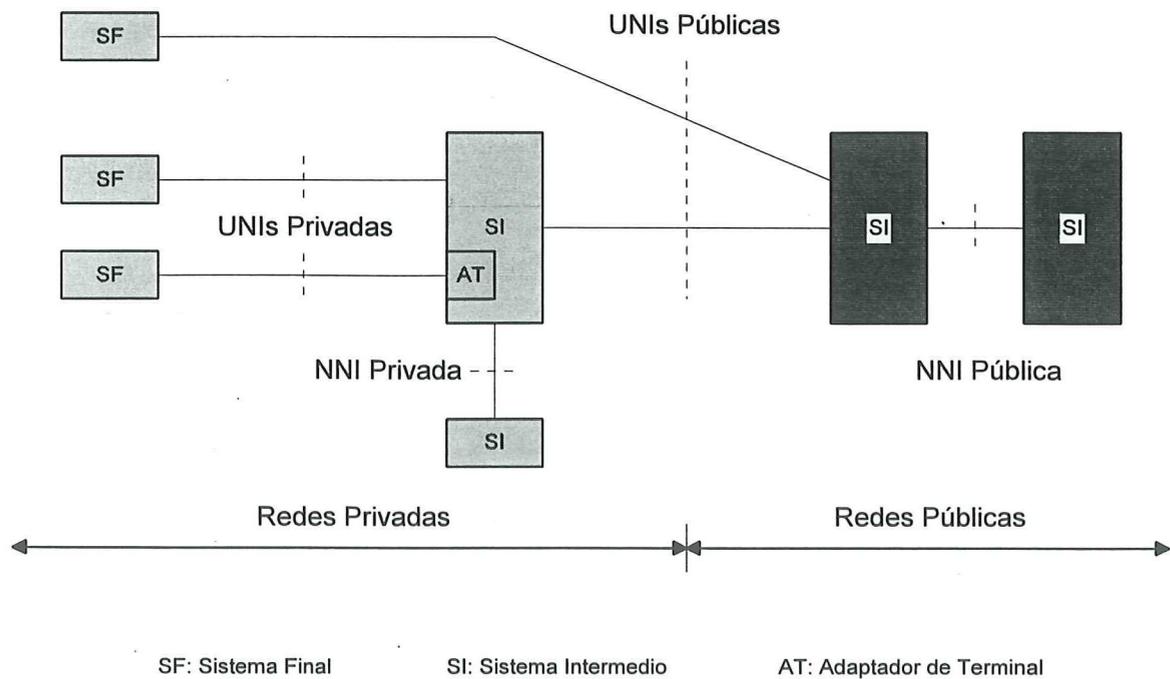


Figura 9. Configuración de referencia de la UNI y la NNI de ATM.

Se utilizan lo que son los sistemas finales y los sistemas intermedios, distinguiendo entre públicos (forman parte de la red del proveedor) y privados (forman parte del CPE del usuario). La UNI de ATM se ubica entre el CPE ó sistema final y ya sea el adaptador de terminal ó el sistema intermedio. Mientras que la NNI se ubica entre sistemas intermedios.

III.2.2.3 ESTRUCTURA DE LA CELDA ATM EN LA UNI Y LA NNI

Existen dos esquemas para la estructura de la celda, una para la UNI y otra para la NNI.

La Figura 10 ilustra el formato de la celda ATM para la interfaz usuario a red (UNI). En el lado izquierdo se bosqueja en forma lineal, mientras que en el lado derecho en forma de bloque.

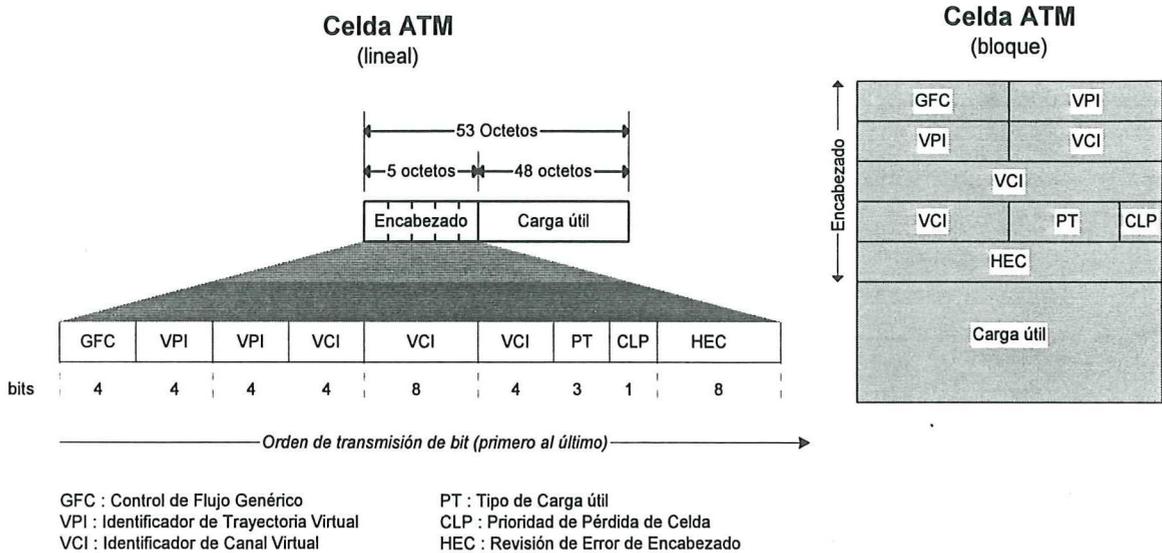


Figura 10. Estructura de la celda de la UNI de ATM.

El encabezado de la celda contiene un control de flujo genérico (GFC) de 4 bits. Una dirección lógica en dos partes: un identificador de trayectoria virtual (VPI) de 8 bits y un identificador de canal virtual (VCI) de 16 bits. El tipo de carga útil (PT) de 3 bits, y un indicador de prioridad de pérdida de celda (CLP) de 1 bit. Todos los campos del encabezado son protegidos con un campo para revisión de error de encabezado (HEC) de 8 bits.

La Figura 11 muestra la celda ATM para la interfaz de red a red (NNI). El formato es idéntico al formato de la UNI excepto que la información de flujo genérico (GFC) no se aplica, por lo que esos bits se utilizan para incrementar el campo VPI a 12 bits.

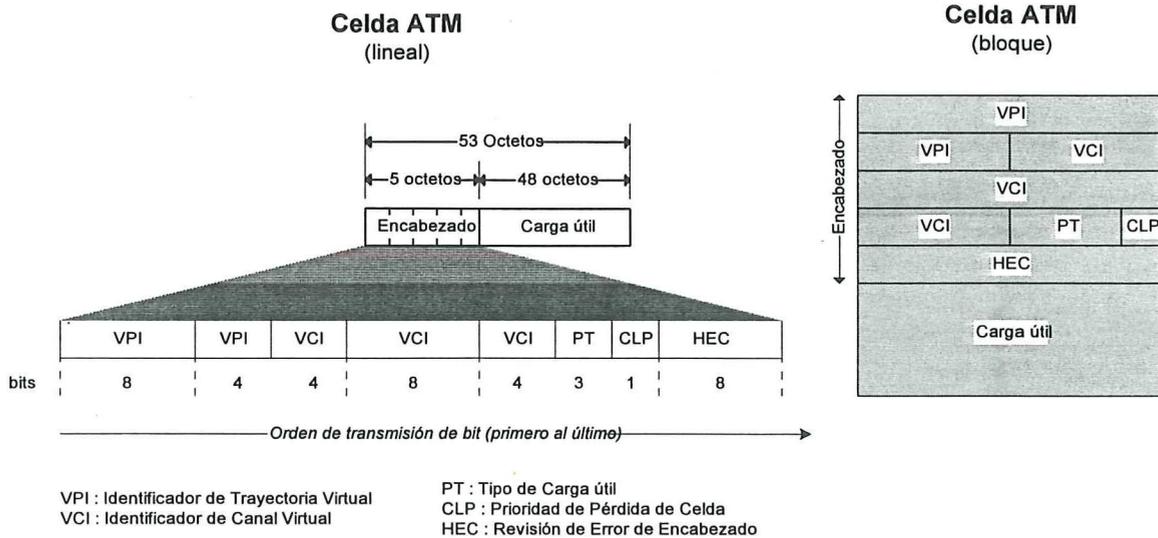


Figura 11. Estructura de la celda de la NNI de ATM.

El propósito de los campos del encabezado de la celda ATM es el siguiente:

- ⇒ El *Control de Flujo Genérico (GFC)* puede ser usado para el control del flujo de celda solamente en la UNI local. Los detalles de su aplicación están en estudio, por lo pronto este campo no es utilizado.
- ⇒ El *Identificador de Trayectoria Virtual (VPI)* y el *Identificador de Canal Virtual (VCI)* son utilizados para enrutamiento dentro de la red.
- ⇒ El *Tipo de Carga Útil (PT)* discrimina entre una celda que transporta en su carga útil información de usuario ó una que transporta información de administración. La codificación de este campo se muestra en la Tabla IV.

Tabla IV. Codificación del tipo de carga útil.

Código del PT	Significado del código del campo PT
000	Celda de datos de usuario, EFCI=0, Indicación_AAL=0
001	Celda de datos de usuario, EFCI=0, Indicación_AAL=1
010	Celda de datos de usuario, EFCI=1, Indicación_AAL=0
011	Celda de datos de usuario, EFCI=1, Indicación_AAL=1
100	Celda OAM F5 asociada al segmento
101	Celda OAM F5 asociada a extremo a extremo
110	Celda de Administración de Recursos
111	Reservado para funciones futuras

- » La *Prioridad de Pérdida de Celda (CLP)* indica la prioridad de descarte de una celda en caso de que halla congestión dentro de la red.
- » El campo de *Revisión de Error del Encabezado (HEC)* es utilizado para detectar errores en el encabezado de la celda con capacidad de corregir un bit en error.

III.2.3 Capa de Adaptación de ATM (AAL)

Los servicios requeridos por capas superiores son proporcionados, por la capa ATM, a través de capas de adaptación de ATM (AAL). Las recomendaciones CCITT I.362 y la I.363 definen la AAL.

La Figura 12 describe la estructura y las interfaces lógicas de la AAL. Los servicios proporcionados a las capas superiores por un Punto de Acceso al Servicio de AAL (SAP-de-AAL) se muestra en parte superior de la figura, a través del cual se pasan las primitivas relacionadas con las Unidades de Datos de Protocolo de AAL (PDU-de-AAL). La AAL es dividida dentro de la Subcapa de Convergencia (CS) y la Subcapa de Segmentación y Reensamble (SAR). La CS es además subdividida en los componentes Específico al Servicio (SS) y Parte Común (CP). La Subcapa de Convergencia Específica al Servicio (SSCS) puede ser nula, lo que significa que puede no ser implementada. La CPCS siempre debe ser implementada con la subcapa SAR. Estas capas pasan primitivas de acuerdo a sus respectivas PDUs entre ellas, como se muestra en la figura, hasta el paso de primitivas PDU-de-SAR (que es la carga útil de la celda ATM) hacia y desde la capa ATM a través del SAP-de-ATM.

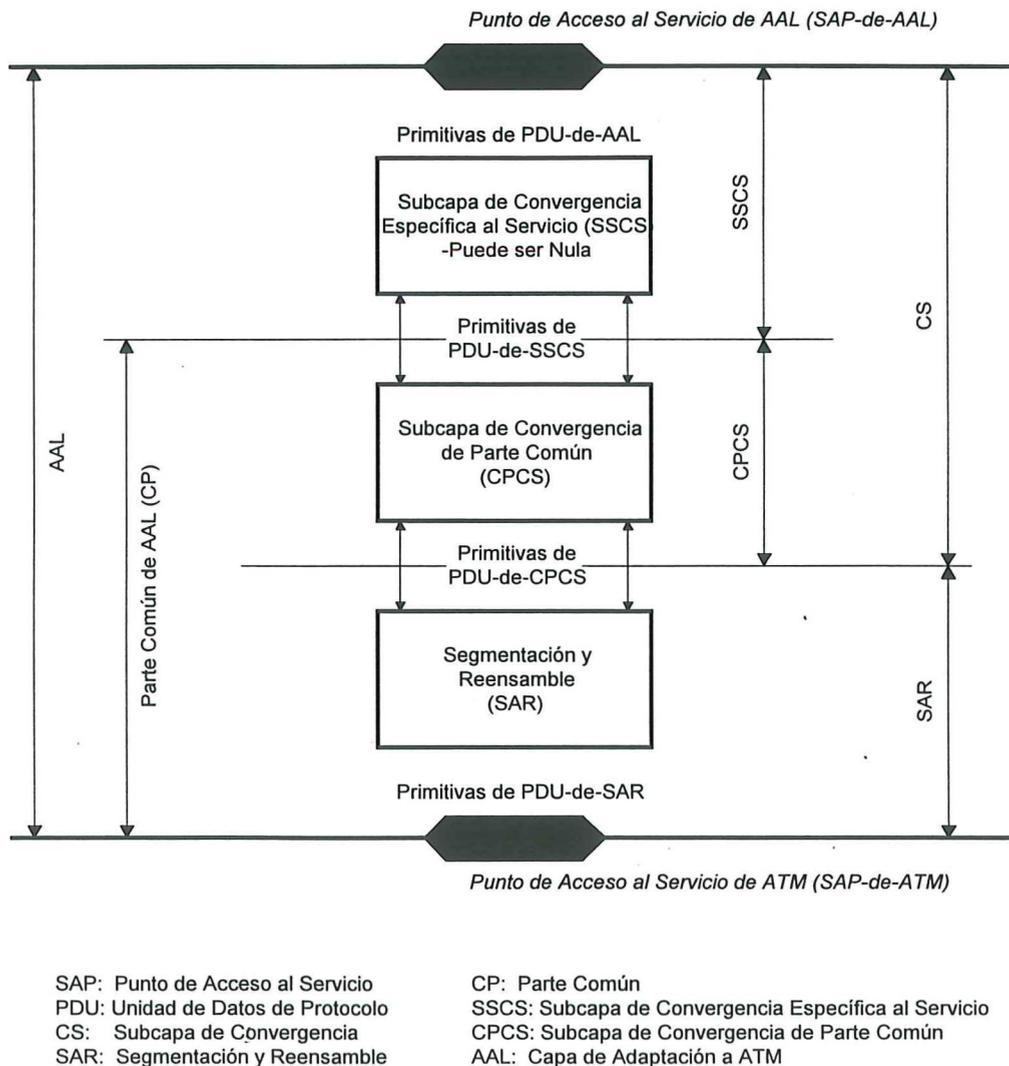


Figura 12. Modelo genérico de subcapas de protocolo de AAL.

Para que la AAL adapte diferentes tipos de aplicaciones se han clasificado cuatro clases de servicio de acuerdo a los siguientes atributos: la relación de sincronía, requerida o no, entre el fuente y el destino, la tasa de bit constante o variable, y el tipo de servicio con ó sin conexión.

La Figura 13 describe las cuatro clases de servicio, etiquetadas de A hasta D.

Atributo	Clase de Servicio			
	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D
Tasa de bit	Constante	Variable		
Relación de sincronía entre fuente y destino	Requerido		No Requerido	
Modo de conexión	Orientado a Conexión			Orientado a No Conexión
Tipo de AAL	AAL1	AAL2	AAL3/4 ó AAL5	AAL3/4 ó AAL5
Ejemplos de aplicación	DS1, E1, nx64 kbps	Video enpaquetado, Audio	Frame Relay, X.25	IP, SMDS

Figura 13. Clases de servicio de ATM.

Inicialmente se especificaron, por los estándares, capas de adaptación desde la AAL1 hasta la AAL4 para cubrir directamente a las clases de servicio desde la clase A hasta la D. La AAL1 se ha definido para aplicaciones de tasa de bit constante (CBR). Para servicios de tasa de bit variable (VBR), inicialmente, se desarrolló la AAL3 para servicios orientados a conexión y la AAL4 para servicios orientados a no conexión. Debido a que la AAL3 y la AAL4 eran muy comunes en estructura y función estas fueron combinadas dentro de una sola clase llamada AAL3/4. Recientemente, la AAL5, fue concebida por la industria de computación en respuesta a las dificultades percibidas de complejidad e implementación de la AAL3/4. La AAL5 fue adoptada por el Foro de ATM, el ANSI, y el CCITT en un tiempo relativamente corto comparado al proceso usual de estandarización y en corto tiempo ha sido la AAL mayor utilizada.

La AAL1 especifica la manera en que los circuitos tipo TDM pueden ser emulados sobre una red ATM. La emulación de circuito se especifica en detalle para el soporte de DS1, DS3, y nxDS0 en ANSI T1.630.

La AAL2 especifica transporte ATM de circuito orientado a conexión y audio y video paquetizado de tasa de bit alta y variable (VBR). Este estándar no ha sido aún bien definido.

La AAL3/4 está especificada para el soporte de tráfico de tasa de bit variable (VBR), para servicios con ó sin conexión. El soporte para servicio de no conexión es provisto en el nivel de subcapa de convergencia especifica al servicio (SSCS).

La AAL5 soporta tráfico de tasa de bit variable (VBR), ya sea orientado ó no a conexión. El soporte para servicio orientado a conexión o a no conexión es proporcionado en el nivel de la subcapa de convergencia especifica al servicio (SSCS).

III.3 PLANOS DE USUARIO Y CONTROL

III.3.1 Plano de Usuario

El plano de usuario incluye la subcapa de convergencia especifica al servicio (SSCS) de la AAL, y capas superiores. La AAL y capas superiores proporcionan interfaces y servicios de gran utilidad a las aplicaciones de usuario final como lo son: Frame Relay, SMDS, IP, y otros.

Se han desarrollado dos protocolos de SSCS especialmente para el plano de usuario:

- »»» Frame Relay SSCS
- »»» SMDS SSCS

No se requiere SSCS para el soporte de IP o de emulación de circuito sobre ATM debido a que la parte común de AAL los soporta directamente.

El área de soporte de protocolo de capa superior para ATM tiene solamente un estándar:

- »»» IETF RFC 1483. Encapsulación de Multiprotocolo sobre ATM.

III.3.2 Plano de Control

El plano de control maneja todas las funciones relacionadas con la conexión virtual, y lo que es mas importante, la capacidad de circuito virtual conmutado (SVC). Los paquetes de señalización son enviados en un canal virtual identificado por VPI=0, VCI=5 [Alles,

1995]. El plano de control también desarrolla las funciones de direccionamiento y enrutamiento.

La arquitectura del plano de control se describe en la Figura 14. La recomendación ITU-T Q.2931 especifica la señalización en la UNI de ATM. La Q.2931 fue derivada tanto del protocolo de señalización de la UNI Q.931 para ISDN de banda angosta, y el protocolo de señalización de la UNI Q.933 para Frame Relay. El nombre formal para el protocolo de señalización de la UNI de ATM es el sistema de señalización digital #2 (DSS2). La recomendación ITU-T Q.2130 especifica la función de coordinación específica al servicio (SSCF) para la UNI. El ITU-T Q.2110 especifica el protocolo orientado a conexión específico al servicio (SSCOP).

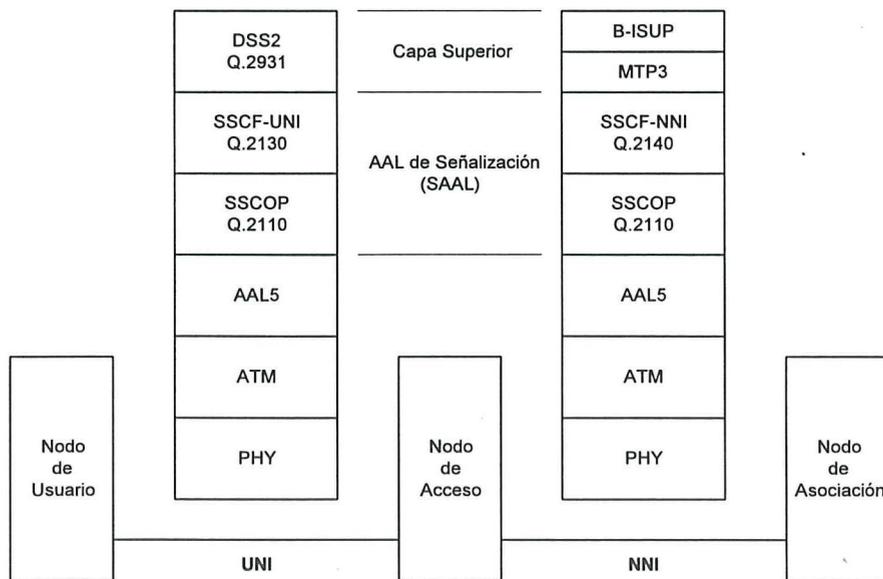


Figura 14. Arquitectura del plano de control.

La señalización de NNI de banda amplia es realizada por el protocolo de la parte de usuario de B-ISDN (B-ISUP) especificado por las recomendaciones Q.2761 a la Q.2764. El protocolo B-ISUP opera sobre el protocolo de transferencia de mensaje llamado MTP3. La recomendación Q.2140 especifica la SSCF en la NNI. La señalización de NNI usa el mismo protocolo SSCOP que el de la UNI.

III.3.2.1 DIRECCIONAMIENTO Y ENRUTAMIENTO

El direccionamiento ocurre en el nivel de VPI/VCI de ATM y en el nivel de red lógico. Ya que el VPI/VCI es único solamente para una trayectoria de transmisión física, hay la necesidad de tener una dirección de nivel mas alto que sea única al menos a través de cada red. Idealmente, la dirección debe ser única a través de todas las redes para proveer conectividad universal. Una vez que cada entidad, involucrada en conexiones virtuales de conmutación, tiene una dirección única, surge la necesidad de encontrar una ruta de la parte que llama a la parte llamada. Esta necesidad es resuelta usando enrutamiento.

El protocolo de señalización automáticamente asigna los valores VPI/VCI a direcciones ATM y puertos físicos de la UNI basado en el tipo de SVC solicitado según el conjunto de reglas para punto a punto o punto a multipunto. Un puerto físico de la UNI debe tener a lo menos una dirección ATM única.

Como una VCC o una VPC está definida solamente en una dirección, un SVC punto a punto es un par de VCCs o VPCs: una conexión de ida y una conexión de regreso como se ilustra en la Figura 15.

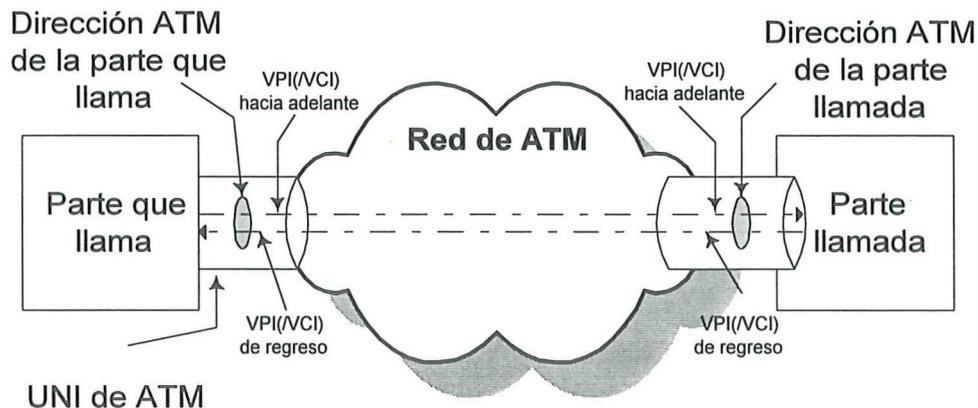


Figura 15. Conexión virtual conmutada (SVC) punto a punto.

Es importante tener una convención estandarizada para la codificación de las direcciones fuente y destino. En PVC no es necesario el direccionamiento debido a que los extremos finales y conexiones ya están definidos y por lo tanto los VPI/VCI son

preestablecidos. Mas sin embargo, para SVCs, la conexión destino puede cambiar con cada sesión; y de allí, que se requiera direccionamiento explícito. Después de que la llamada ha sido establecida entre las UNIs, los valores de VPI/VCI pueden ser usados para identificación de tráfico.

A cada punto final de ATM se le asigna una dirección ATM única. Esta información de direccionamiento es usada por la red para localizar los nodos origen - destino y establecer una ruta entre las interfaces correspondientes.

Las direcciones de red ATM incluyen direcciones de red ATM privadas definidas por el foro de ATM y direcciones de red ATM públicas definidas por la ITU-T. El direccionamiento de red pública está basado en la recomendación E.164. Las direcciones de red ATM privadas están basadas en el formato NSAP de OSI. Opcionalmente, las redes públicas pueden también soportar las direcciones privadas [Onvural, 1994].

III.3.2.2 PROTOCOLO DE SEÑALIZACIÓN

El protocolo de señalización especifica la secuencia de mensajes (ó primitivas) que se deben intercambiar, las reglas para verificar consistencia de los parámetros, y las acciones que se deben tomar para establecer y liberar conexiones de capa ATM.

Los mensajes utilizados para el control de conexiones punto a punto son:

- »»» Mensajes de Establecimiento de llamada
 - ESTABLECIMIENTO
 - LLAMADA EN PROCESO
 - CONEXION
 - RECONOCIMIENTO DE CONEXION
- »»» Mensajes de Liberación de Llamada
 - LIBERACION
 - LIBERACION COMPLETA
- »»» Mensajes de Estado
 - SOLICITUD DE ESTADO
 - ESTADO (RESPUESTA)

»»» Mensajes Relacionados a Referencia de Llamada Global

- REINICIAR (TODO)
- RECONOCIMIENTO DE REINICIAR
- ESTADO

Los mensajes utilizados para el control de conexiones punto a multipunto son:

»»» Mensajes de Establecimiento de Llamada

- AGREGA USUARIO
- RECONOCIMIENTO DE AGREGA USUARIO
- RECHAZO DE AGREGA USUARIO

»»» Mensajes de Liberación de Llamada

- LIBERA USUARIO
- RECONOCIMIENTO DE LIBERA USUARIO

Cada mensaje de señalización tiene un número de elementos de información, de los cuales algunos son *obligatorios* y otros son *opcionales*. Los elementos clave de información obligatorios utilizados en el protocolo son:

- »»» Tasa de celda solicitada.
- »»» Número de parte llamada.
- »»» Identificador de conexión (valor VPI/VCI asignado).
- »»» Clase de calidad de servicio (QoS) solicitada.

Los aspectos básicos del protocolo de señalización para la UNI de ATM basados en el Foro de ATM y el Q.2931 se ilustran en la Figura 16 en donde se realiza el establecimiento y la liberación de una llamada punto a punto.

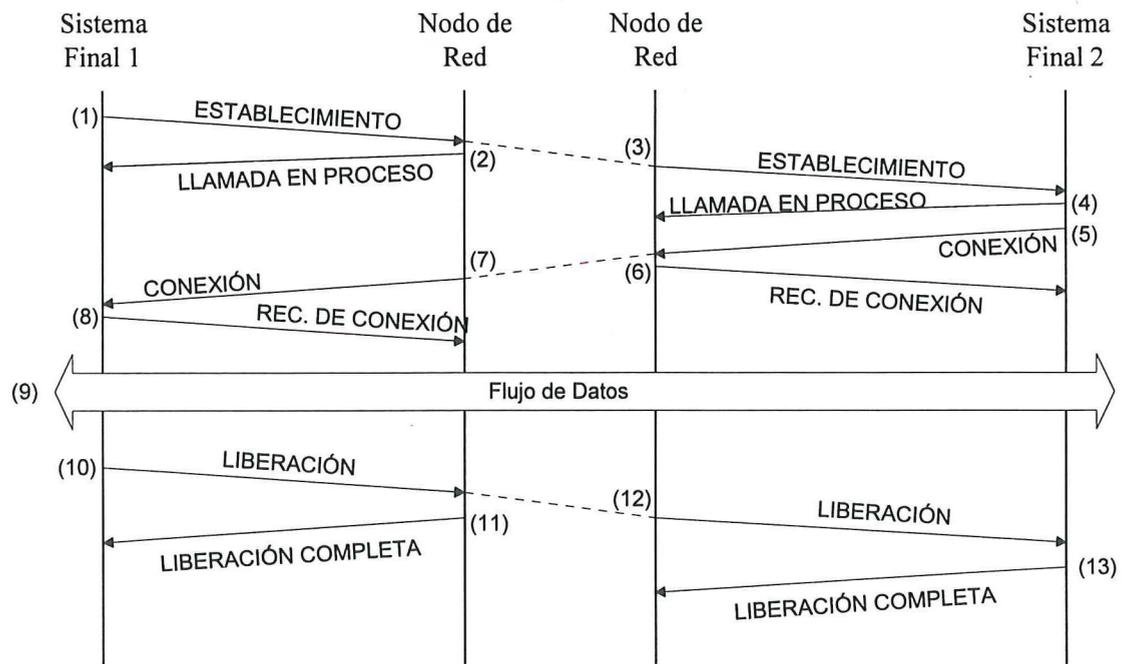


Figura 16. Flujos principales de Q.2931 para una conexión punto a punto.

III.4 CONTROL DE TRÁFICO Y CONGESTIÓN

Como en el caso de las redes Frame Relay, las técnicas de control de tráfico y congestión son vitales para la operación exitosa de redes basadas en ATM. Sin esas técnicas, el tráfico de los nodos de usuario puede exceder la capacidad de la red, causando que los almacenadores temporales de los conmutadores de ATM tengan sobreflujo, conduciendo a pérdida de información.

El ITU-T ha definido un conjunto inicial restringido de capacidades de control de tráfico y congestión mediante mecanismos simples y eficientes, los cuales están especificados en I.371. El Foro de ATM ha publicado una versión un poco más avanzada de este conjunto en la especificación de la UNI de ATM versión 3.0.

La Tabla V lista las funciones definidas para el control de tráfico y congestión con respecto a los periodos de respuesta que ellas operan.

Tabla V. Funciones de control de tráfico y de congestión.

Periodo de Respuesta	Funciones de Control de Tráfico	Funciones de Control de Congestión
Periodo de inserción de celda	Control de Parámetro de Uso/Red (UPC/NPC) Control de Prioridad (PC)	Descarte Selectivo de Celda
Periodo de propagación de ida y vuelta	Administración Rápida de Recurso (FRM)	Notificación Explícita
Duración de conexión	Control de Admisión de Conexión (CAC)	
Término largo	Administración de recurso de red (FM)	

Se consideran cuatro niveles de tiempo:

- »»» En el nivel de *periodo de inserción de celda* las funciones reaccionan inmediatamente a las celdas conforme ellas son transmitidas ó recibidas.
- »»» En el nivel de *periodo de propagación de ida y vuelta* la red responde dentro del tiempo de vida de una celda en la red y puede proveer indicaciones de retroalimentación a la fuente.
- »»» En el nivel de *duración de conexión* la red determina cuando puede ser provista una nueva conexión a una QoS dada.
- »»» En el nivel de *término largo* se manejan funciones que afectan a más de una conexión ATM y son usadas en periodos largos como recursos de administración y mantenimiento de la red.

La esencia de la estrategia de control de tráfico esta basada en determinar cuando una conexión nueva puede ser provista y ponerse de acuerdo con el usuario en los parámetros de desempeño que han de ser soportados. En efecto, el usuario y la red recaen dentro de un *contrato de tráfico*: la red se compromete a soportar el tráfico a cierto nivel en esa conexión, y el suscriptor se compromete a no exceder los límites de desempeño.

Los parámetros clave utilizados para describir el tráfico y manejados por el contrato de tráfico son [McDysan and Spohn, 1995]:

- » **Tasa de Celda Pico (PCR).** Es la tasa máxima (celdas/segundo) a la que se pueden enviar las celdas.
- » **Tasa de Celda Sostenible (SCR).** Es la tasa promedio máxima (celdas/segundo) que se puede enviar una ráfaga a la tasa pico.
- » **Tamaño de Ráfaga Máximo (MBS).** Es el número máximo de celdas que pueden ser enviadas sobre un intervalo de tiempo T .

Las cantidades SCR y MBS están relacionadas de la siguiente manera [Stern and Mazella, 1996]:

$$T = \frac{MBS}{SCR} \quad (3)$$

Un modelo de referencia genérico derivado de I.371 como el que se muestra en la Figura 17 ilustra el sitio de varias funciones de control de tráfico y congestión. El ajuste de flujo de celdas (formación de tráfico) para cumplir con los parámetros de tráfico pueden ser desarrollados en el equipo terminal. Entonces se requiere que se vigile, por la red, el cumplimiento de esos parámetros de tráfico en la UNI mediante la función de control de parámetro de uso (UPC). En una manera similar las redes pueden revisar flujos de celdas que llegan de una red anterior usando el control de parámetro de red (NPC). Dentro de las redes se pueden emplear funciones como control de admisión de conexión (CAC), administración de recursos (RM), control de prioridad (PC), y otros.

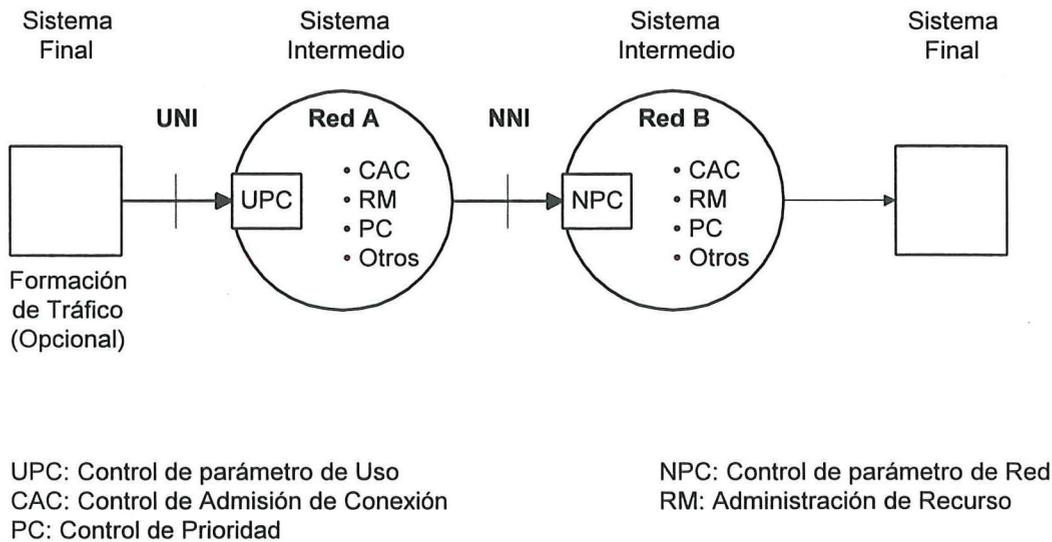


Figura 17. Visión global del sitio de las funciones de control de tráfico/congestión.

Las clases de calidad de servicio son definidas primeramente en términos de los siguientes parámetros definidos por CCITT I.350 para cada conexión:

- »»» Retardo promedio de transmisión de celda.
- »»» Variación de retardo de celda
- »»» Pérdida en celdas con CLP=0
- »»» Pérdida en celdas con CLP=1
- »»» Tasa de error

Para aquellas conexiones que no especifican parámetros de tráfico y una clase de QoS, hay una capacidad definida por el Foro de ATM como el *mejor esfuerzo* donde no se hacen garantías de QoS y no se necesitan establecer parámetros de tráfico específicos.

Para hacer las cosas más simples a los usuarios, se especificaron un número pequeño de clases predefinidas de QoS, con valores de parámetros preestablecidos por la red en cada una de las clases de QoS. La especificación de la UNI del Foro de ATM define cinco clases de QoS numeradas. En la Tabla VI se muestran con ejemplos resumidos de aplicaciones para cada clase de QoS, además del tipo de servicio soportado. Anteriormente (en la Figura 13) se definió como se relacionan estos tipos de servicios a las AALs.

Tabla VI. Clases de QoS.

Clase de QoS	Tipo de Servicio	Parámetros de QoS	Aplicación
0	-	No especificado	“Mejor esfuerzo”, “A riesgo”
1	A	Especificado	Emulación de Circuito, CBR
2	B	Especificado	Video/Audio de VBR
3	C	Especificado	Datos Orientados a Conexión
4	D	Especificado	Datos Orientados a no Conexión

En la clase de *QoS no especificada*, no se tiene un objetivo por el operador de la red para los parámetros de desempeño.

Un ejemplo de aplicación de la clase de QoS no especificada es el soporte para servicio de *mejor esfuerzo*, donde efectivamente no hay parámetros de tráfico especificados. Una característica del servicio de ‘mejor esfuerzo’ es que se espera que la aplicación de usuario se adapte a los recursos de red disponibles en un tiempo variable. El nombre actual para este tipo de servicio controlado es la tasa de bit no especificada (UBR). Se está empezando a definir, por el Foro de ATM, un servicio de control adaptivo como lo es el servicio de tasa de bit disponible (ABR).

III.4.1 Control de Tráfico

La función de control de tráfico se refiere al conjunto de acciones tomadas por la red para evitar condiciones de congestión o minimizar los efectos de congestión de tal forma que se mantenga la QoS de las conexiones. Se han definido las siguientes funciones:

- »»» **Administración de Recurso de Red (RM).** El concepto esencial es el de asignar recursos de red en un modo tal que separe flujos de tráfico de acuerdo a las características de servicio.
- »»» **Control de Admisión de Conexión (CAC).** El control de admisión de conexión es la primer defensa para proteger la red de cargas excesivas. La red acepta una nueva conexión solamente si puede entregar los recursos necesarios para soportar el nivel de

QoS solicitado a la vez que mantiene la QoS comprometida con las conexiones existentes. Aceptando la conexión, la red forma un contrato de tráfico con el usuario.

- »»» **Control de Parámetro de Uso/Red (UPC/NPC).** Una vez que la conexión ha sido aceptada por la función de control de admisión de conexión (CAC), la función de control de parámetro de uso (UPC), en la UNI, y la función de parámetro de red (NPC), en la NNI, monitorean la conexión para verificar que el tráfico introducido cumpla con el contrato de tráfico. Para asegurar el cumplimiento con el contrato de tráfico se utiliza el Algoritmo Genérico de Tasa de Celda (GCRA) [McDysan and Spohn, 1995]. La estrategia es que las celdas que cumplan sean pasadas y las que no cumplan sean descartadas en el punto de la función de UPC/NPC. A opción de la red, también puede usarse el etiquetado de celdas para las celdas que no cumplan. En este caso, una celda que no cumpla con un $CLP=0$ puede ser etiquetada con $CLP=1$ y pasada. Tales celdas están sujetas a ser descartadas mas tarde en algún punto de la red.
- »»» **Control de Prioridad (PC).** El control de prioridad entra en juego cuando la red, en algún punto mas allá de la función de UPC y en presencia de congestionamiento, descarta celdas (con $CLP=1$) a manera de proteger el desempeño para celdas con prioridad alta ($CLP=0$).
- »»» **Formación de Tráfico.** La formación de tráfico es usada para suavizar el flujo de tráfico y reducir la agrupación de celdas, con el propósito de lograr una mejor asignación de recursos y un tiempo de retardo promedio reducido.
- »»» **Administración Rápida de Recurso (FRM).** Esta herramienta está aun bajo estudio. Con esto el usuario podría exceder temporalmente el contrato de tráfico actual para enviar una cantidad relativamente grande de datos; si la red determina que los recursos existen a lo largo de la ruta para tal ráfaga, entonces la red reserva esos recursos y otorga permiso. Después de la ráfaga, el contrato de tráfico normal es puesto en vigor.

III.4.2 Control de Congestión

La congestión se define como la condición donde la carga ofrecida (demanda) del usuario a la red se aproxima, o excede, los límites de diseño de la red para garantizar la QoS especificada en el contrato de tráfico. Esta demanda puede exceder el límite de diseño del recurso porque los recursos fueron sobre-reservados, o debido a fallas dentro de la red. La congestión es una situación anormal, la cual debe ser evitada en lo posible.

En las redes ATM los recursos que pueden llegar a una situación de congestión incluyen: puertos de conmutación, almacenadores temporales, enlaces de transmisión, procesadores de AAL, y procesadores de CAC. El recurso en donde la demanda excede la capacidad es llamado *cuello de botella, punto de congestión, o restricción*.

Las categorías de repuesta a la congestión son : *administración, anulación, y recuperación*.

La **administración de congestión** opera cuando no hay congestión con el objetivo de tratar de asegurar que no se entre a un estado de congestión. Para esto, incluye los siguientes métodos:

- »»» Asignación de recurso.
- »»» Control de parámetro de uso (UPC) con descarte.
- »»» Control de admisión de conexión (CAC).
- »»» Ingeniería de red.

La **anulación de congestión** es un conjunto de mecanismos en tiempo real para prevenir y recuperarse de congestión durante periodos de demandas de tráfico pico coincidentes o sobrecargas de red. Un ejemplo de su uso es cuando los nodos y/o enlaces han fallado. La anulación de congestión incluye los siguientes métodos:

- »»» Indicación de Congestión Explícita Hacia Delante (EFCI).
- »»» Control de Parámetro de Uso (UPC) con etiquetado.
- »»» Control de Admisión de Conexión (CAC) con sobre-reserva.
- »»» Bloqueo de Llamada.
- »»» Control de Flujo.

Los procedimientos de **recuperación de congestión** son iniciados para prevenir que la congestión degrade severamente la QoS, percibida por el usuario final, que es entregada por la red. Estos procedimientos son típicamente iniciados cuando la red ha empezado a experimentar pérdidas o un incremento notable de retardo debido a la congestión. La recuperación de congestión incluye:

- »»» Descarte selectivo de celda.
- »»» UPC dinámico.
- »»» Desconexión.
- »»» Procedimientos de operación.

IV. INTEROPERABILIDAD DE FRAME RELAY / ATM

IV.1 INTRODUCCIÓN

La interconexión de redes implica y da lugar a la interoperabilidad de técnicas tanto de servicio como de transporte, requiriendo cierto tratamiento o manipulación de la comunicación en los límites entre las subredes que se interconectan.

Para lograr la interoperabilidad puede ser necesaria la traslación de diferentes protocolos, estas traslaciones pueden darse de la siguiente manera [RACE D421, 1994] :

- »»» Traslación uno a uno sin pérdida de información.
- »»» Traslación con transferencia de información degradada.
- »»» No es posible una traslación funcional.

Las interacciones requeridas para realizar estas traslaciones recaen en las *funciones de interoperabilidad* (IWF) localizadas en las *unidades de interoperabilidad* (IWU).

Las técnicas empleadas para lograr la interoperabilidad son [Recommendation I.555, 1993]:

- »»» **Traslación de protocolo.** La IWF traslada una PDU del formato usado en la subred fuente a una PDU con el formato de la subred destino. Esta traslación puede involucrar la alteración de información dentro de la PDU.
- »»» **Encapsulación.** Evita la alteración de una PDU que es transportada. La encapsulación esta diseñada para transmitir la información fuente de forma transparente sobre la red de transporte hacia los sistemas finales. La red de transporte proporciona un túnel que acepta PDUs en un lado, y las entrega, sin alterar, en el otro lado. Cualquier manipulación de la PDU en el túnel es invisible a las subredes fuente y destino.

La interoperabilidad Frame Relay / ATM proporciona los medios para integrar redes con tecnología Frame Relay y redes con tecnología ATM.

Los foros³ internacionales, Frame Relay y ATM, han desarrollado especificaciones para la interoperabilidad de Frame Relay / ATM con Circuitos Virtuales Permanentes (PVC). Estas especificaciones están descritas en los tratados de implementación FRF.5 (Interoperabilidad de Red) y FRF.8 (Interoperabilidad de Servicio).

La *interoperabilidad de red* permite la comunicación de dos nodos finales de Frame Relay (como FRADs o enrutadores) que están conectados a una red Frame Relay, sobre una dorsal ATM (ver Figura 18). Se pueden soportar múltiples redes Frame Relay conectadas a través de una dorsal ATM sin requerir cambios en el equipo del cliente.

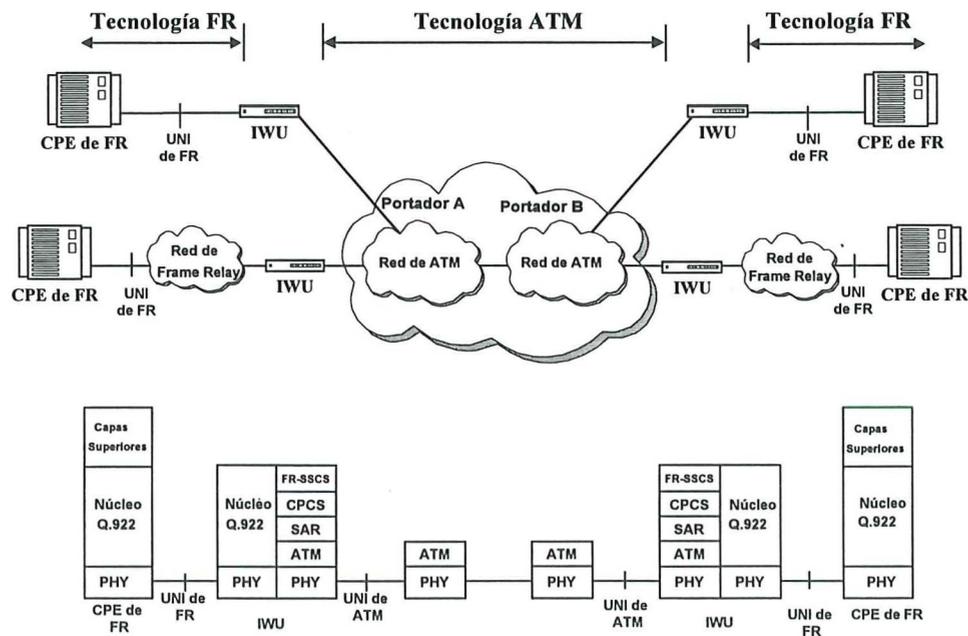


Figura 18. Topología y protocolos de la Interoperabilidad de red entre FR y ATM.

El uso de una red ATM por dos redes, ó CPE, de FR no es visible para los usuarios finales. La IWF proporciona todas las funciones de translación y encapsulación necesarios para asegurar que el servicio proporcionado al equipo terminal de FR no sea afectado por el transporte sobre ATM.

³ Los foros están formados por asociaciones de vendedores, proveedores de servicios, usuarios, y consultores para la implementación de tecnología de acuerdo a estándares nacionales e internacionales. Los foros a los que se hace referencia en este trabajo son el *Foro de ATM* y el *Foro de Frame Relay*.

La *interoperabilidad de servicio* conecta una red Frame Relay a una red ATM, permitiendo que dispositivos finales de Frame Relay se comuniquen con dispositivos finales de ATM (ver Figura 19). Con la interoperabilidad de servicio, los usuarios pueden coexistir o emigrar una parte de la red de Frame Relay existente hacia ATM sin requerir algún cambio en los dispositivos finales.

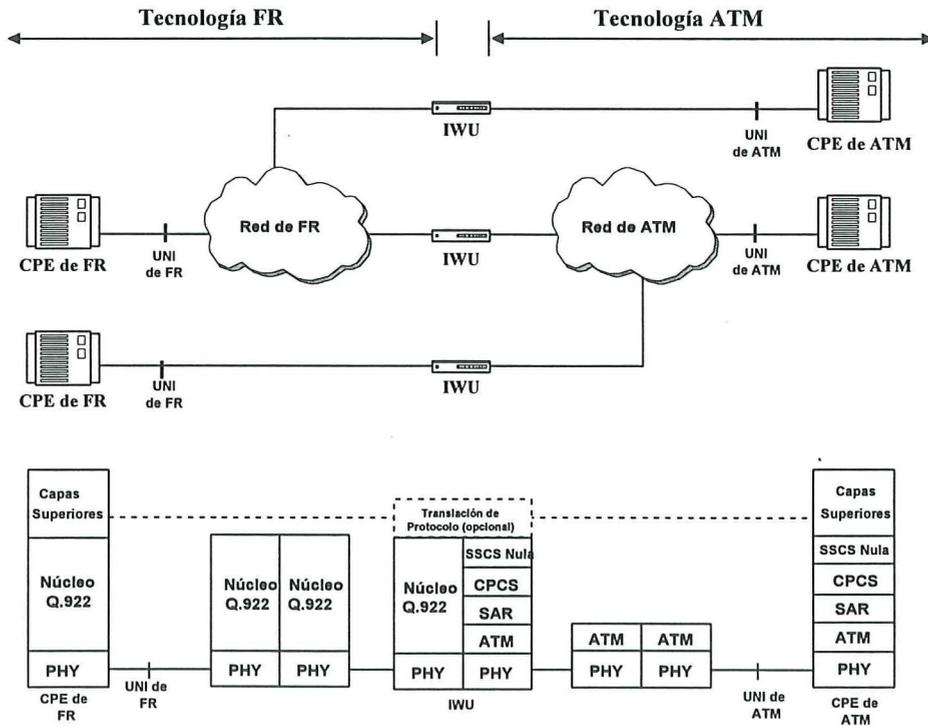


Figura 19. Topología y protocolos de la interoperabilidad de servicio entre FR y ATM.

Cabe mencionar que la IWU, tanto en interoperabilidad de red como de servicio, puede estar de forma independiente como se muestra en la Figura 18 y Figura 19, pero es más probable que ésta se encuentre en la red, ó CPE, de FR ó bien en la red ATM.

Aunque ya esté especificada la interoperabilidad de Frame Relay / ATM con PVCs, aún quedan varios aspectos abiertos que deben ser solucionados, entre estos están : *interoperabilidad con SVCs, ingeniería de tráfico, administración de tráfico, resolución de direcciones, y administración de red*, de los cuales el más importante es el uso de SVCs [Sudhir and Stuart, 1996].

IV.2 INTEROPERABILIDAD DE FRAME RELAY / ATM CON SVC

En este trabajo se analizará la interconexión de dispositivos terminales de Frame Relay por medio de una red intermedia de transporte (dorsal) con tecnología ATM; la topología es la misma que la que se maneja en la interoperabilidad de red con PVCs (Figura 18), solo que ahora se hará con SVCs.

El aspecto primordial para lograr la interoperabilidad de Frame Relay / ATM con SVC, está en definir las funciones de interoperabilidad (IWFs) necesarias para realizar la comunicación adecuada entre los protocolos de ambas tecnologías, los cuales se muestran en la Figura 20.

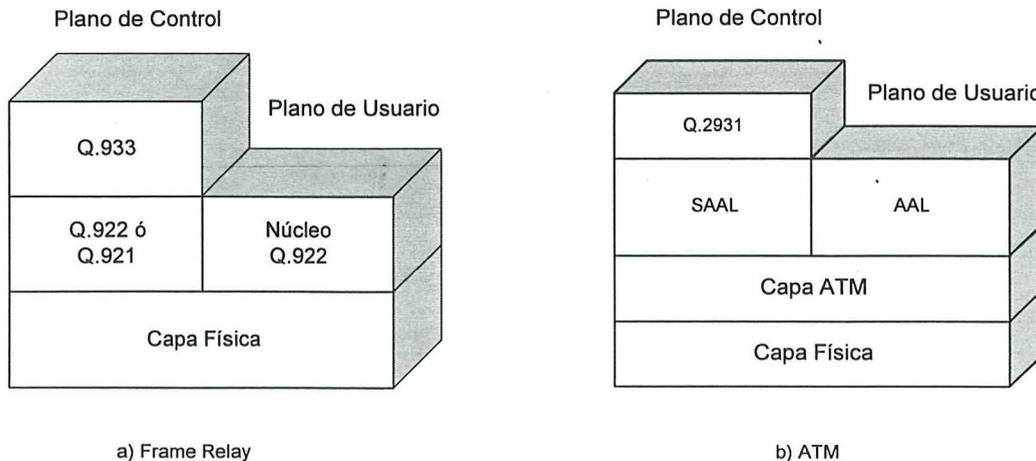


Figura 20. Protocolos de: a) Frame Relay y b) ATM.

En PVC solo son necesarios los protocolos del plano de usuario, debido a que la conexión ya está preestablecida y no es necesario el plano de control que se encargue del manejo de la conexión.

Más sin embargo, en SVC es necesario además del plano de usuario, el plano de control, por lo que la IWF debe manejar en forma conjunta los protocolos de ambos planos.

Los protocolos de los planos de usuario y control asociados a la interoperabilidad de FR/ATM con el uso de SVC se muestra en la Figura 21.

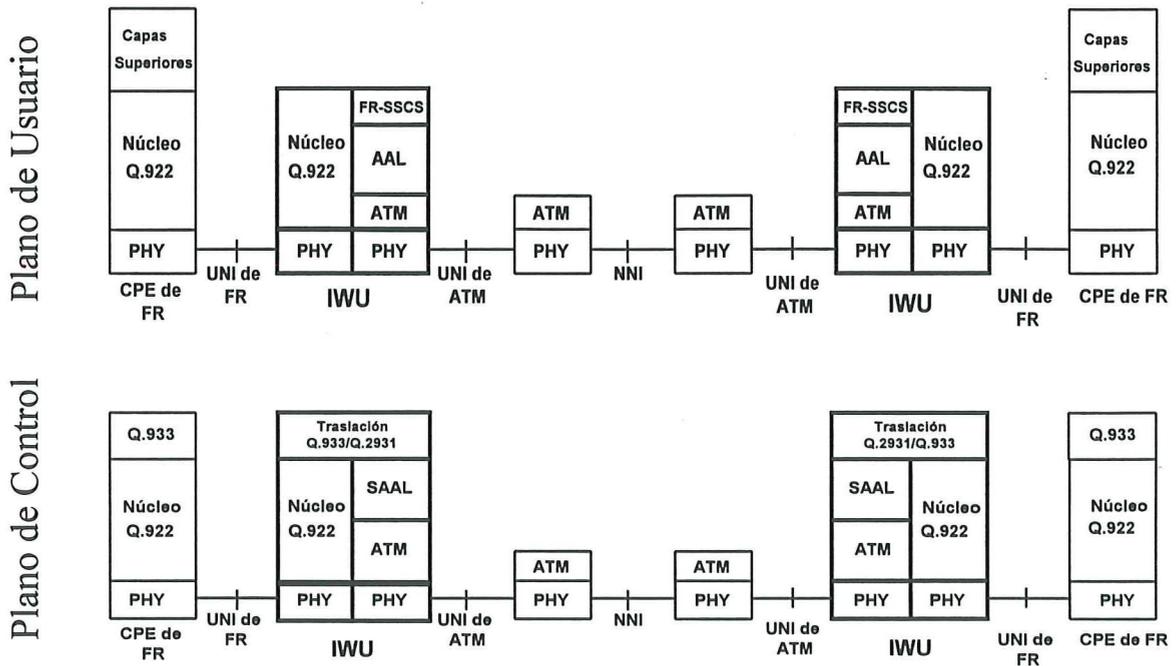


Figura 21. Protocolos asociados a la interoperabilidad FR/ATM con SVC.

Los protocolos del plano de usuario pueden manejarse como se especifica en [O’Leary. FRF.5. 1994]. Esto debido a que la transmisión de información de usuario, una vez establecida la conexión, se realiza de la misma forma tanto en PVC como en SVC.

IV.2.1 Función de Interoperabilidad (IWF) para el Plano de Usuario

La IWF proporciona la traducción entre funciones de Frame Relay (FR) y funciones de ATM. Las características de FR a ser soportadas incluyen:

- »»»» Formato y delimitado de la trama.
- »»»» Detección de error.
- »»»» Multiplexión de conexión.
- »»»» Indicación de prioridad de pérdida.
- »»»» Indicación de congestión (hacia adelante y hacia atrás).

Las siguientes secciones tratan cada una de estas características. La Figura 22 ilustra la arquitectura interna de protocolos de la IWU de FR / ATM.

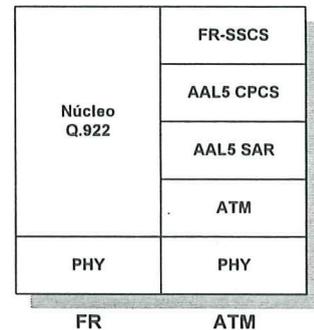


Figura 22. Arquitectura interna de la IWU de FR/ATM.

IV.2.1.1 FORMATO Y DELIMITADO DE TRAMA.

La Subcapa de Convergencia Específica al Servicio de Frame Relay (FR-SSCS) usa un formato de Unidad de Datos de Protocolo (PDU) idéntico al núcleo Q.922 pero quitando el CRC, las banderas y la inserción de bits. El formato de la PDU de la FR-SSCS esta estructurada como se muestra en la Figura 23 a la derecha de la capa FR-SSCS.

La SAR y la CPCS de la AAL5 en conjunto con la indicación de usuario a usuario (fin de PDU - ver Tabla IV:Indicación_AAL) de la capa ATM proporcionan el delimitado de trama para la PDU de FR-SSCS. Los formatos de PDU de la parte común de AAL-5 se muestran en la Figura 23.

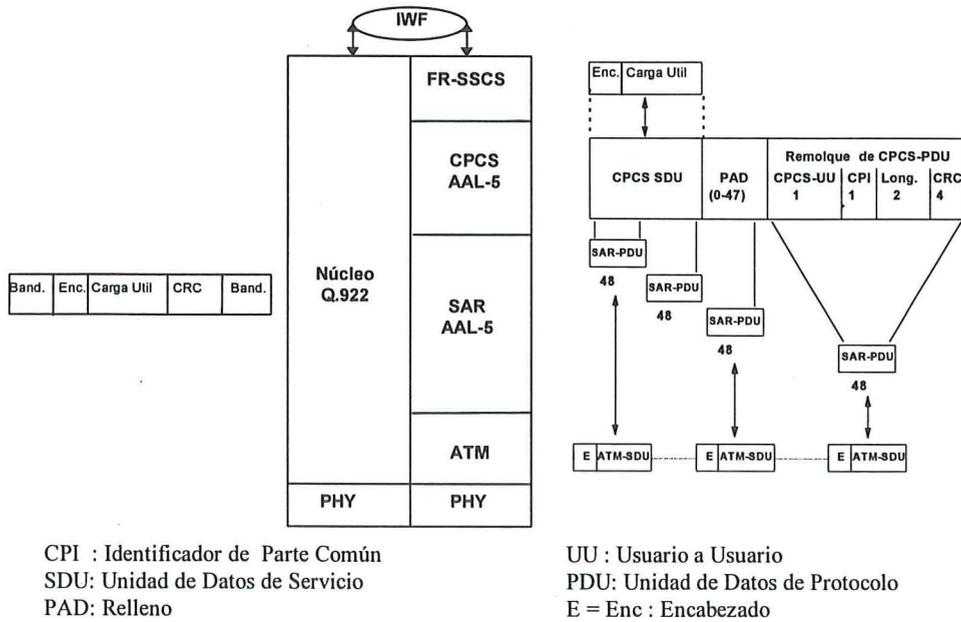


Figura 23. Formatos de PDU de la parte común de AAL-5.

IV.2.1.2 DETECCIÓN DE ERROR

La detección de error para la PDU de FR-SSCS es realizada por el CRC-32 de la PDU de CPCS de la AAL-5.

IV.2.1.3 MULTIPLEXIÓN DE CONEXIÓN

La FR-SSCS puede soportar multiplexión de conexión mediante el DLCI de FR. Además, la capa ATM soporta multiplexión de conexión usando sus identificadores VPI/VCI. Los métodos para multiplexar conexiones de FR sobre ATM son [Recommendation I.555, 1993]:

- »»» **Uno a Uno.** Cada conexión lógica de FR es asociada a una sola Conexión de Canal Virtual (VCC) de ATM.
- »»» **Muchos a Uno.** Múltiples conexiones lógicas de FR son multiplexadas dentro de una VCC de ATM. Éste método puede ser usado solamente para circuitos virtuales de FR que terminan en los mismos sistemas finales basados en ATM.

IV.2.1.4 INDICACIÓN DE PRIORIDAD DE PÉRDIDA

- »»» **En la Dirección de FR a ATM.** El campo DE en la trama del núcleo Q.922 debe ser copiado dentro del campo DE de la PDU de FR-SSCS, además de ser mapeado al campo CLP en cada celda ATM generada por el proceso de segmentación de esa trama.
- »»» **En la Dirección de ATM a FR.** Si una o mas celdas de ATM pertenecientes a la trama tienen el campo CLP puesto a 1 o si el campo DE de la PDU de FR-SSCS esta puesto a 1, la IWF debe activar el campo DE de la trama del núcleo Q.922.

IV.2.1.5 INDICACIÓN DE CONGESTIÓN

IV.2.1.5.1 Indicación de Congestión Hacia Adelante

- »»» **En dirección de FR a ATM.** El campo FECN de la trama del núcleo Q.922 debe ser copiado dentro del campo FECN en la PDU de FR-SSCS, y no es mapeado al campo EFCI de la celda ATM. El campo EFCI de todas las celdas de ATM deben ser siempre puestas a 'congestión no experimentada'.
- »»» **En dirección de ATM a FR.** Si el campo EFCI en la última celda de la trama segmentada recibida esta puesta a 'congestión experimentada', o si el campo FECN

de la PDU de FR-SSCS recibida esta puesta a 'congestión experimentada', entonces la IWF debe activar el FECN de la trama del núcleo Q.922.

IV.2.1.5.2 Indicación de Congestión Hacia Atrás

La indicación de congestión hacia atrás es soportada solo en Frame Relay por el campo BECN.

- »» **En dirección de FR a ATM.** El campo BECN en la PDU de FR-SSCS debe ser puesto a 'congestión experimentada' por la IWF si se cumple cualquiera de las siguientes condiciones:

 - El BECN está activado en la trama del núcleo Q.922 ó
 - El EFCI fue puesto a 'congestión experimentada' en la última celda de ATM de la última trama recibida en la dirección inversa.
- »» **En dirección de ATM a FR.** El campo BECN en la PDU de FR-SSCS debe ser copiada al campo BECN de la trama del núcleo Q.922.

IV.2.2 Función de Interoperabilidad (IWF) para el Plano de Control

El asunto principal a resolver en el plano de control es el aspecto del manejo de mensajes para el establecimiento y liberación de conexión (señalización) que son parte de éste plano. Por lo tanto, la IWF debe proporcionar los medios necesarios para que los mensajes de Frame Relay sean de alguna forma compatibles con los mensajes de ATM.

Para el plano de control no es necesario que los campos del encabezado de la trama de Frame Relay se transfieran a los campos del encabezado de las celdas de ATM, o viceversa; aspecto que si se realiza en el plano de usuario. Los identificadores de conexión para la señalización, en Frame Relay siempre es DLCI = 0 y en ATM es VPI=0 y VCI = 5. El bit DE ó CLP son puestos a 0, ya que la señalización tiene alta prioridad sobre los datos. Los bits BECN, FECN y EFCI no son utilizados en el plano de control.

Lo que si debe analizarse es la información de la carga útil, ya que en esta se encuentra la definición de los mensajes de señalización. Estos mensajes para el manejo de conexiones

punto a punto son muy similares en el protocolo Q.933, utilizado por FR, y el Q.2931 de ATM.

La IWF realiza la traslación de protocolo entre la PDU de Q.933 y la PDU de Q.2931 como se muestra en la Figura 24 [O'Leary, FRF.8. 1995].

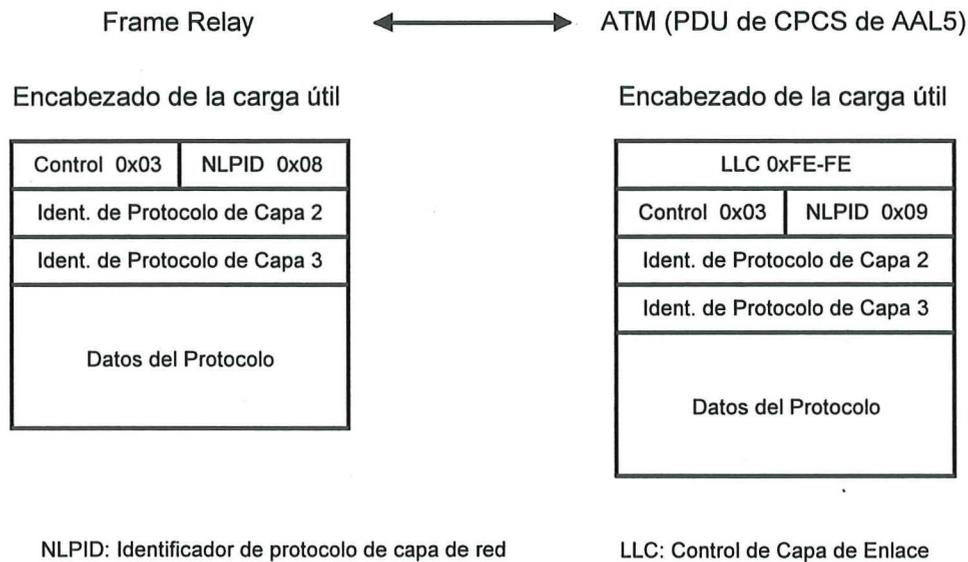


Figura 24. Traslación de PDUs de protocolos Q.933/Q.2931.

Tanto en ATM como en Frame Relay, el mensaje de ESTABLECIMIENTO contiene los parámetros necesarios para establecer la conexión, los cuales se muestran enseguida:

En Frame Relay se tienen:

- »»» Parámetros de tráfico como CIR, B_c, EIR, B_e, T.
- »»» Identificador de conexión DLCI.
- »»» Direcciones de fuente y destino en formato E.164
- »»» Tamaño máximo de trama.

En ATM se tienen:

- »»» Parámetros de tráfico como PCR, SCR, MBS.
- »»» Identificador de conexión VPI/VCI
- »»» Direcciones de fuente y destino en formato E.164 ó NSAP.
- »»» Clase de QoS.

Para lograr la comunicación FR/ATM es necesario asociar los parámetros utilizados por FR con los parámetros de ATM en el mensaje de ESTABLECIMIENTO, este proceso se explicará en el resto de este capítulo. Para los demás mensajes (LIBERACIÓN, CONEXIÓN, RECONOCIMIENTO DE CONEXIÓN, LLAMADA EN PROCESO) solo es necesario realizar la traslación de la PDU de ambos protocolos (Figura 24).

IV.2.2.1 TRASLACIÓN DE PARÁMETROS DE TRÁFICO

La traslación de los parámetros de tráfico de FR a los parámetros de tráfico de ATM se realiza de la siguiente manera [ATM Forum, 1994]:

$$\left. \begin{array}{l} \text{CIR} \leftrightarrow \text{SCR} \\ \text{Bc} \leftrightarrow \text{MBS} \end{array} \right\} \text{CLP} = 0 \quad (4)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{EIR} \leftrightarrow \text{SCR} \\ \text{Be} \leftrightarrow \text{MBS} \end{array} \right\} \text{CLP} = 1 \quad (5)$$

$$\text{Tasa de Acceso de FR} \leftrightarrow \text{PCR} \} \text{CLP} = 0/1 \quad (6)$$

A los valores del SCR y PCR se les puede incluir un margen extra para compensar el sobrecargo introducido en transferir las tramas de FR a través de la red ATM de tal forma que se entregue un CIR y un EIR equivalente hacia el usuario. Este sobrecargo puede verse en el siguiente ejemplo: para transmitir una trama de 514 bytes (2 bytes del encabezado de FR y 512 de la información) dentro de celdas (5 bytes de encabezado y 48 de información), se necesitan 11 celdas las cuales acumulan un sobrecargo de 55 bytes (adicionales a los del encabezado de Frame Relay) disminuyendo de esta forma la tasa de información (CIR) que el usuario tiene.

Este margen extra puede ser una tasa equivalente para la cantidad de sobrecargo que se introduciría para el tamaño máximo de trama de FR. Por ejemplo, para un tamaño máximo de trama de 1600 bytes se necesitan 34 celdas ATM que introducen un sobrecargo de 170 bytes por lo que el SCR con CLP=0 puede ser calculado como:

$$SCR = \frac{CIR \text{ (bits/seg)} + 170 \text{ (bytes)} * 8 \text{ (bits/byte)} * 1 \text{ (seg)}}{53 \text{ (bytes/celda)} * 8 \text{ (bits/byte)}} = \frac{CIR + 1360}{424} \text{ (celdas/seg)} \quad (7)$$

El valor de T es calculado de la misma manera en que se hace en cada tecnología:

$$T = \frac{Bc}{CIR} \text{ para FR} \quad (8)$$

$$T = \frac{MBS}{SCR} \text{ para ATM} \quad (9)$$

IV.2.2.2 TRASLACIÓN DE IDENTIFICADOR DE CONEXIÓN

La IWU debe contener una tabla de traslación en la que cada registro contendrá la siguiente información [O'Leary, FRF.8. 1995] (ver Figura 25):

- Número de puerto en la IWU hacia FR (P1).
- Número de DLCI de FR sobre el puerto de FR ($y = 0$).
- Número de puerto en la IWU hacia ATM (P2).
- Número de VP/VCI de ATM sobre el puerto de ATM ($a/b = 0/5$).

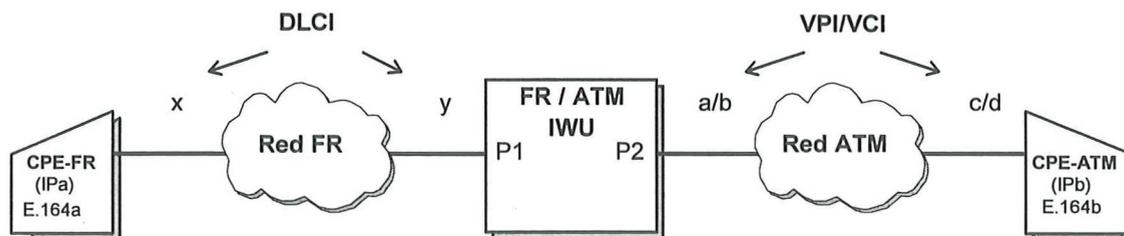


Figura 25. Diagrama de referencia para el mapeo de identificadores de conexión.

IV.2.2.3 RESOLUCIÓN DE DIRECCIONES

El soporte para la resolución de direcciones entre ambas tecnologías se realiza mediante la conversión entre el Protocolo de Resolución de Direcciones (ARP) de FR (RFC 1293) y el ARP de ATM (RFC 1577).

Es necesario que tanto el protocolo de FR (Q.933) como el protocolo de ATM (Q.2931) utilicen el plan de numeración E.164 para el manejo de direcciones (ver CPE en Figura 25).

La IWU no necesita obtener alguna tabla de traslación para las direcciones (IP) de los equipos terminales, solamente necesita saber como realizar la conversión entre estos dos formatos de ARP. Esta conversión se especifica en [O'Leary, FRF.8. 1995].

IV.2.2.4 TAMAÑO MÁXIMO DE TRAMA DE FR

Debido a que no hay un campo similar en el mensaje ESTABLECIMIENTO de ATM para el tamaño máximo de trama (TMT) de FR, esta información se mantendrá sobre la IWU, y será independiente para cada subred de FR. De esta forma, al ser recibido un mensaje ESTABLECIMIENTO por la IWU, esta unidad guardará el valor del TMT para la red de FR a la que está conectada y realizará el proceso de traslación del mensaje ESTABLECIMIENTO de Q.933 al mensaje ESTABLECIMIENTO de Q.2931 (el cual no tendrá información sobre el TMT). La IWU estará entonces encargada de segmentar/reensamblar de acuerdo al TMT soportado por la red de Frame Relay a la que se encuentra interconectada.

IV.2.2.5 CALIDAD DE SERVICIO (QoS)

La QoS que satisface las necesidades para el transporte de información de Frame Relay sobre ATM es la clase C sobre la AAL5 [Sudhir and Stuart, 1995] (ver Figura 13).

V. MODELOS PARA EL ESTUDIO DE LA INTEROPERABILIDAD DE FR/ATM CON SVC

V.1 DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS

Como se establece en el objetivo, nuestro interés se enfoca en la interoperabilidad de la interconexión FR/ATM con SVC, no obstante, se modela también la interconexión de redes con tecnología puramente FR con el uso de PVC y la interoperabilidad de la interconexión de FR/ATM con PVC. Con esto se logra mayor consistencia al trabajo en dos sentidos: (a) Se desarrolla un modelado en tres etapas de menor a mayor complejidad, es decir solo FR con PVC, FR/ATM con PVC y FR/ATM con SVC; (b) se efectúa un análisis comparativo de los 3 modelos, que permitan obtener conclusiones más extensas acerca del funcionamiento de la interoperabilidad de FR/ATM con SVC.

Los 3 modelos que se contemplan en este trabajo contienen la misma topología de red como se muestra en la Figura 26.

En cada subred pueden verse varios FRADs, conmutadores y una IWU la cual interconecta a la subred con algún conmutador de la dorsal.

El primer modelo, que llamaremos PVC-FR, representa la interconexión de subredes Frame Relay a través de una dorsal Frame Relay con el uso de PVCs. El segundo modelo, que denominamos PVC-FR-ATM, representa la interconexión de subredes Frame Relay a través de una dorsal ATM con el uso de PVCs. Y el tercer modelo, SVC-FR-ATM, representa la interconexión de subredes Frame Relay a través de una dorsal ATM con el uso de SVCs.

Para el modelo PVC-FR todos los conmutadores son FR incluyendo a las IWU de cada subred y los conmutadores de la dorsal.

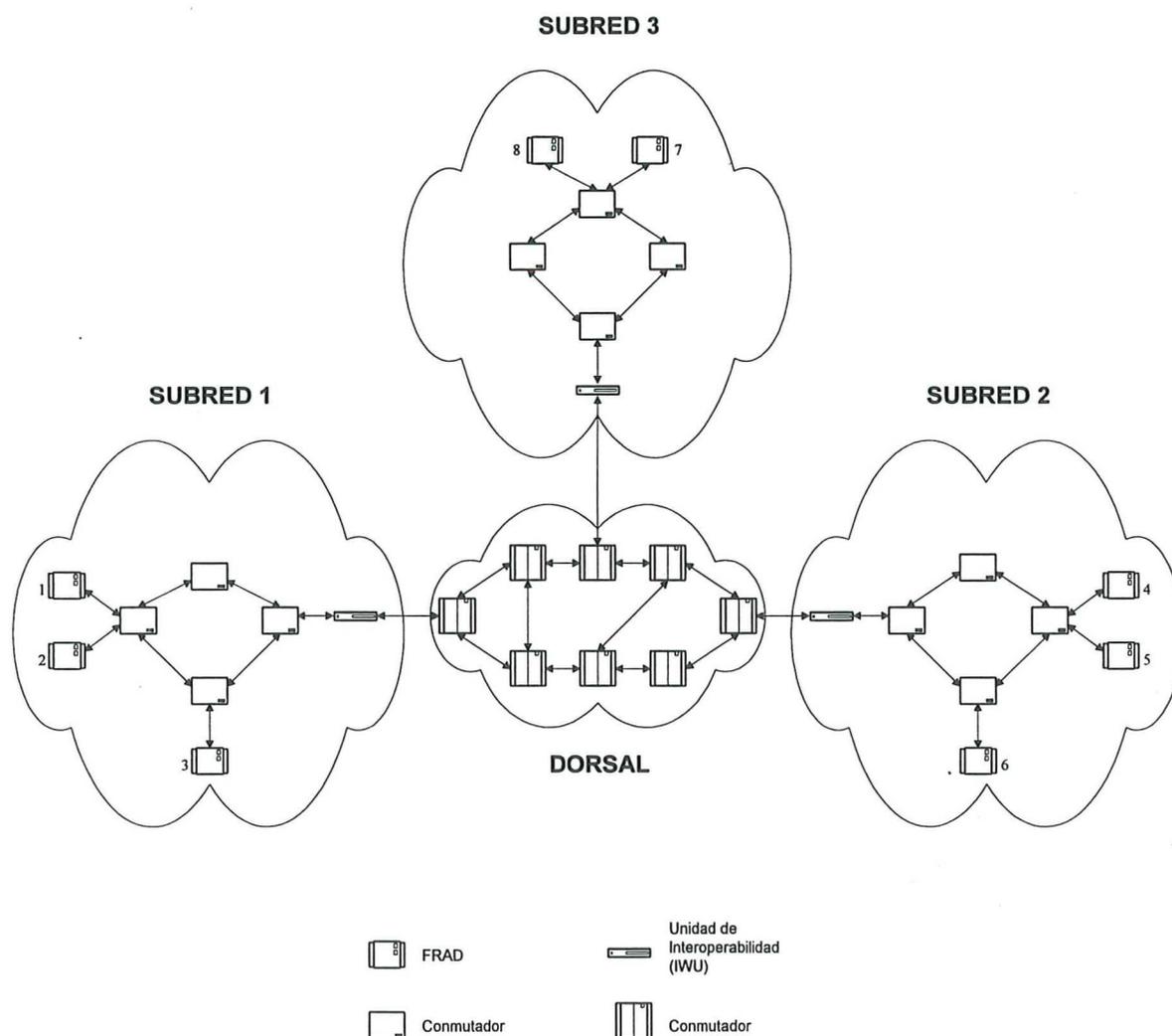


Figura 26. Topología de la interconexión de 3 subredes a través de una dorsal.

En el modelo PVC-FR-ATM solo los conmutadores de las subredes son FR, los conmutadores de la dorsal son ATM, la IWU de cada subred es la definida por los foros de ATM y FR [O'Leary, FRF.5. 1994]. En el modelo SVC-FR-ATM las subredes contienen conmutadores Frame Relay pero con capacidades para manejar SVCs, los conmutadores de la dorsal son ATM con capacidad de manejar SVCs, la IWU de cada subred es la que se define en este trabajo que tiene la capacidad de manejar SVCs. Los FRADs para los primeros dos modelos son iguales y manejan PVCs, mientras que los FRADs para en el tercer modelo (SVC-FR-ATM) contienen el protocolo Q.933 para el manejo de SVCs.

V.2 IMPLEMENTACIÓN DE LOS MODELOS EN OPNET

El propósito principal de la simulación es el obtener una caracterización del modelo de red SVC-FR-ATM propuesto, para lo cual nos interesan indicaciones básicas del desempeño de la red, que son: el retardo incurrido por la información del usuario al viajar de extremo a extremo, en los tres modelos que se manejan, y el retardo de establecimiento de conexión que se tiene cuando se utiliza SVC al establecer trayectorias virtuales entre los usuarios finales.

Se utilizó el simulador OPNET, el cual es probablemente el simulador de redes de comunicaciones mas avanzado y completo en la actualidad (ver Anexo B).

Los modelos implementados en OPNET se desarrollan en 3 niveles, en el dominio de red, el dominio de nodo y en el dominio de proceso.

V.2.1 Dominio de red

En la Figura 27 se muestra el modelo del nivel de red de la interconexión de 3 subredes FR a través de una dorsal ATM.

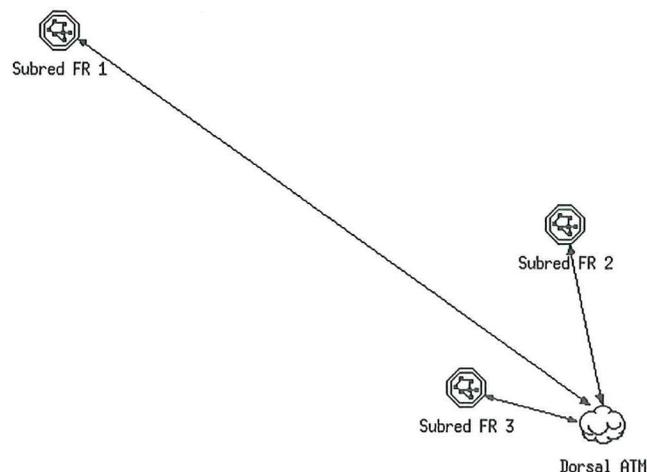


Figura 27. Modelo de la interconexión de 3 subredes FR a través de una dorsal ATM.

Puede verse claramente como se interconectan las 3 subredes Frame Relay sobre la dorsal ATM⁴.

Dentro del mismo dominio de red la Figura 28 muestra el modelo de la subred 1 de Frame Relay.

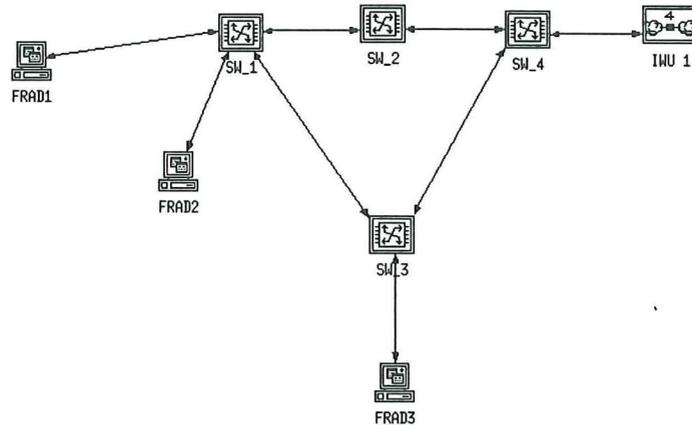


Figura 28. Modelo de la subred 1 de Frame Relay.

En este modelo se observan 3 FRADs conectados a 2 de los 4 conmutadores Frame Relay. Uno de los conmutadores se conecta a la IWU que proveerá la interconexión con la dorsal.

También en el dominio de red, la Figura 29 muestra la dorsal ATM.

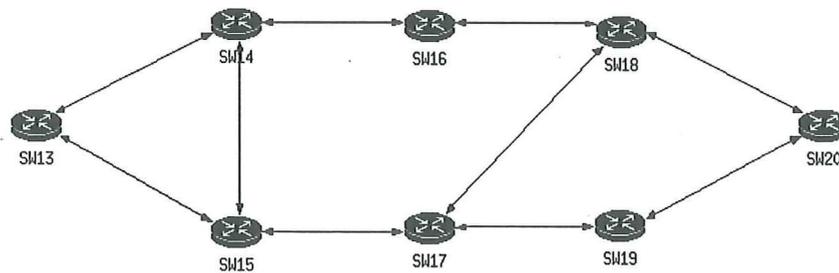


Figura 29. Modelo de la Dorsal ATM.

⁴ En el caso de PVC-FR la dorsal es Frame Relay.

La arquitectura de la dorsal, como puede verse, consta de 8 conmutadores. El conmutador *SW13* interconectará la dorsal a la IWU de la subred 1, el *SW20* a la IWU de la subred 2 y el *SW16* a la IWU de la subred 3.

A este nivel se efectúan las trayectorias de conexión virtual de PVC y SVC. En los modelos PVC-FR y PVC-FR-ATM se establece un PVC por cada par de FRADs, de acuerdo al siguiente arreglo:

FRAD1 ⇔ FRAD5
FRAD2 ⇔ FRAD7
FRAD3 ⇔ FRAD6
FRAD4 ⇔ FRAD8

En el modelo SVC-FR-ATM, a pesar de que los FRADs que tienen la capacidad de cambiar de destinatario, para simplificar el proceso de simulación se utiliza el mismo arreglo anterior.

V.2.2 Dominio de nodo

Se muestran más a detalle, en su dominio de nodo, cada uno de los cuatro dispositivos diferentes presentados en el dominio de red, a saber: *conmutador Frame Relay*, *conmutador ATM*, *FRAD*, *IWU*.

En la Figura 30 se muestra el modelo del *a)* conmutador Frame Relay y el *b)* conmutador ATM.

El conmutador FR está formado por puertos de entrada (izquierda) y puertos de salida (derecha), y 3 módulos encargados del manejo de las tramas. El módulo *FR_trans* recibe las tramas que arriban al conmutador y las transfiere al módulo *FR_mgmt*, si la trama es de control o administración, o bien si son de datos al módulo *FR_switch* para que este las mande por el puerto de salida adecuado.

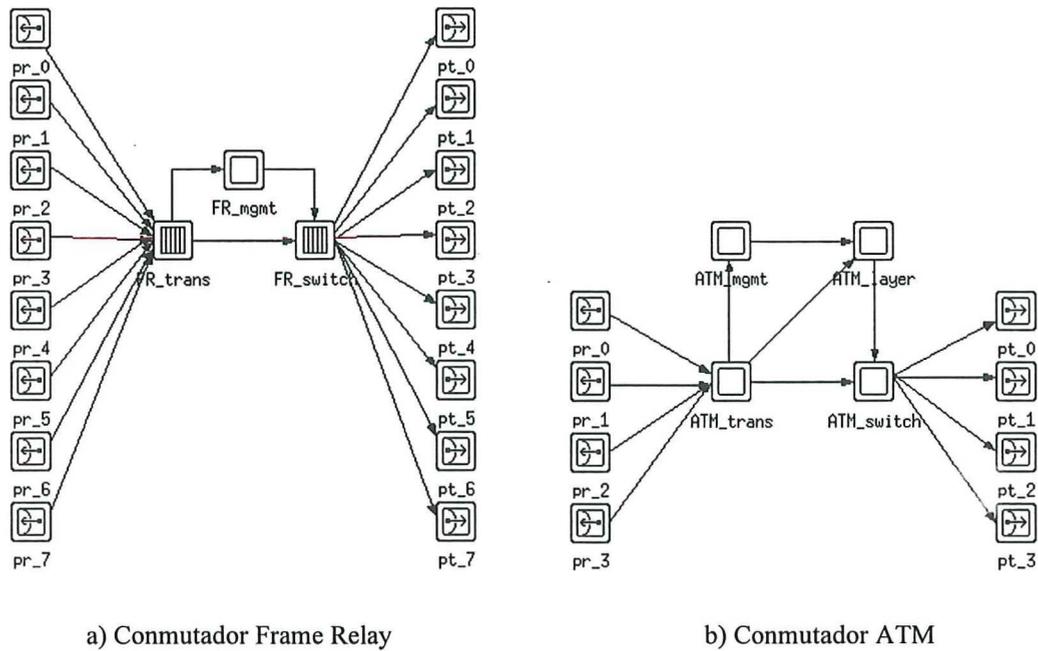


Figura 30. Modelo del a) conmutador Frame Relay y del b) conmutador ATM.

De manera similar, el conmutador ATM tiene puertos de entrada, puertos de salida, y módulos para el manejo de las celdas que arriban al conmutador.

En la Figura 31 se muestra el modelo del FRAD para a) PVC y b) SVC.

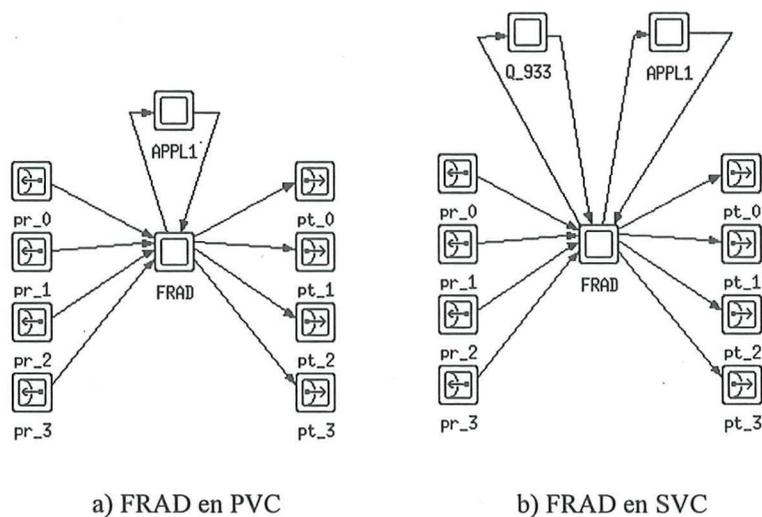


Figura 31. Modelo del FRAD en a) PVC y en b) SVC.

Ambos tienen puertos de entrada, puertos de salida, un módulo *FRAD* encargado de la realización de las funciones del protocolo Q.922, un módulo *APPL1* que genera/recibe la información del usuario. Además puede observarse que en el modelo de SVC se ha agregado el módulo *Q_933* que proporciona la señalización necesaria para el manejo de las conexiones en base al protocolo Q.933.

En la Figura 32 se muestra el modelo de la IWU para a)PVC y b)SVC.

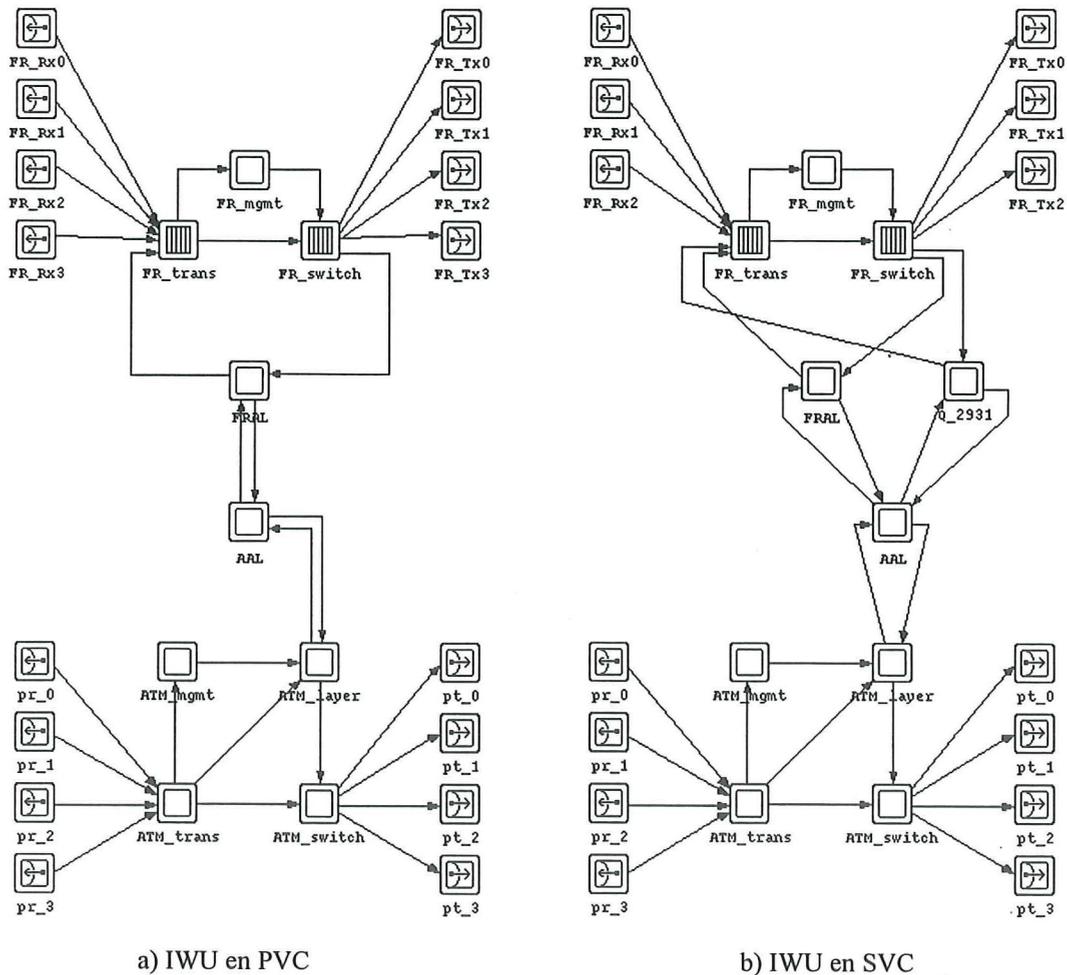


Figura 32. Modelo de las IWU para a)PVC y b)SVC.

Las IWU tienen en un extremo interfaz hacia Frame Relay (arriba) y en el otro interfaz hacia ATM (abajo). La IWU solamente tiene convergencia en el plano de usuario, esto es,

en el manejo de la información del usuario. La IWU de SVC además la convergencia en el plano de señalización para el manejo de las conexiones.

A continuación se presentan las características operacionales seleccionadas para los dispositivos implementados en el simulador (FRADs, conmutadores Frame Relay, conmutadores ATM, IWUs). Estas características fueron obtenidas, en su mayoría, de catálogos de dispositivos comerciales de la compañía Newbridge [Newbridge, 1996]; los datos que no se tenían, fueron extraídos de modelos formulados por usuarios de OPNET.

En la Tabla VII se muestran las características para los FRADs.

Tabla VII. Características de los FRADs.

Parámetro	FRAD: 1, 2, 4, 5, 7 y 8	FRAD: 3 y 6
Tasa de Acceso	64 kbits/seg.	128 kbits/seg.
CIR	32 kbits/seg.	64 kbits/seg.
Bc	64 kbits	128 kbits
Be	64 kbits	128 kbits
T	2 seg.	2 seg.

En la Tabla VIII se muestran las características del conmutador Frame Relay

Tabla VIII. Características del conmutador Frame Relay.

Parámetro	Valor
Capacidad de conmutación	2,000 tramas/segundos
Capacidad del almacenador temporal	1024 Kbits
Puertos:	
(4) Interfaz a conmutador FR	1.544 Mbps (T1)
(2) Interfaz a FRAD 1, 2, 4, 5, 7 y 8	64 Kbps
(1) Interfaz a FRAD 3 y 6	128 Kbps
(1) Interfaz a IWU	622.08 Mbps

En la Tabla IX se muestran las características del conmutador ATM

Tabla IX. Características del conmutador ATM.

Parámetro	Valor
Capacidad de conmutación	12.8 Gbps
Retardo de segmentación/reensamble	1E-8 segundos
Capacidad del almacenador temporal	4000 celdas
Puertos	
(3) Interfaz a conmutador ATM	155.52 Mbps (STM-1)
(1) Interfaz a IWU	34.368 Mbps

En la Tabla X se muestran las características de la IWU

Tabla X. Características de la IWU.

Parámetro	Valor
Capacidad de procesamiento	12.8 Gbps
Retardo de segmentación / reensamble	1E-8 segundos
Capacidad del almacenador temporal	
Interfaz a FR	1024 Kbits
Interfaz a ATM	4000 celdas
Puertos	
(1) Interfaz a FR	622.08 Mbps
(4) Interfaz a ATM	34.368 Mbps (E3)

El hecho de que la tasa de transmisión en la interfaz FR-IWU sea alta, se debe a que se considera que la IWU es parte del conmutador Frame Relay y no como un dispositivo separado [Newbridge, 1995].

V.2.3 Dominio de Proceso

Las funciones de cada módulo de los modelos implementados en el dominio de nodo se describen mediante modelos en el dominio de proceso con diagramas de transición de estados y el lenguaje Proto-C (ver Anexo B). Debido a que se tienen más de 30 modelos de procesos, y estos son muy extensos, en esta sección solo se mostrará uno de ellos, el cual se usa para describir la funcionalidad del módulo *Q_933* del FRAD de SVC (Figura 31b). El diagrama de transición de estados se muestra en la Figura 33.

Pueden observarse varios estados, en donde se realizan ciertas funciones, y varias transiciones, que se realizan de acuerdo al evento ocurrido. El estado *INICIA* inicializa variables de estadística y pasa el control al estado de *ESPERA* el cual al obtener un evento pasa el control al estado de acuerdo a la transición correspondiente al evento.

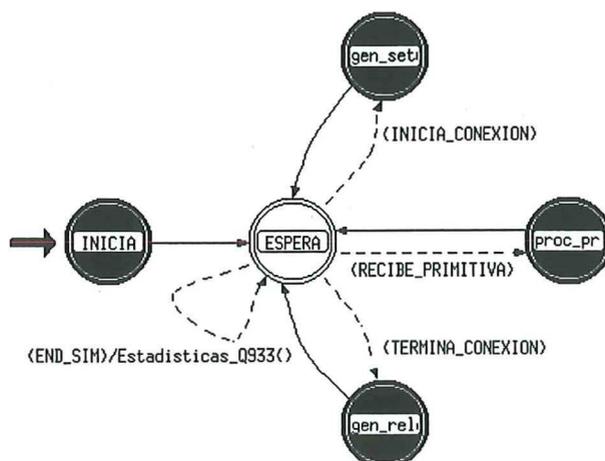


Figura 33. Diagrama de transición de estados del módulo Q.933 del FRAD de SVC.

Cuando hay que realizar el establecimiento de una conexión se genera el evento de *INICIA_CONEXION* que provoca que el control pase al estado *gen_setup* que crea un paquete que contiene el mensaje de ESTABLECIMIENTO, lo envía al usuario con el cual se desea comunicar y regresa el control al estado de *ESPERA*. Cuando hay que liberar la conexión se genera el evento de *TERMINA_CONEXION* pasando el control al estado *gen_release* que envía el paquete que contiene el mensaje de LIBERACIÓN al usuario con el cual se encuentra comunicado y regresa el control al estado *ESPERA*. El estado *procesa_primitiva* se encarga de recibir y procesar las primitivas de señalización que llegan a este FRAD y es activado cuando se genera el evento *RECIBE_PRIMITIVA*, el código de este estado se muestra enseguida:

```

/* Toma el paquete que llega */
pkptr = op_pk_get(op_intrpt_strm());
/* Obten del paquete la primitiva */
op_pk_nfd_get(pkptr, "Primitiva", &primitiva);

switch (primitiva)
{
case SETUP : /* hay que responder con CONNECT (aceptar conexion) */
    estado_conexion = CONNECT;
    admon_pkptr = op_pk_create_fmt (FRMSC_FR_ADMIN_PKFMT);
    op_pk_nfd_set(admon_pkptr, "Primitiva", CONNECT);
    op_pk_nfd_set(admon_pkptr, "Retardo Ida", op_sim_time()-op_pk_creation_time_get(pkptr));
    op_pk_send(admon_pkptr, to_frad_strm);
    break;

```

```

case RELEASE: /* Hay que desconectar, enviar una se~al al frad */
    estado_conexion = RELEASE_ACK;
    admon_pkptr = op_pk_create_fmt (FRMSC_FR_ADMIN_PKFMT);
    op_pk_nfd_set(admon_pkptr, "Primitiva", RELEASE_ACK);
    op_pk_send(admon_pkptr, to_frad_strm);
    break;
case CONNECT: /* Se ha aceptado la conexion, ya se puede empezar a tx, avisar a frad */
    estado_conexion = CONNECT_ACK;
    admon_pkptr = op_pk_create_fmt (FRMSC_FR_ADMIN_PKFMT);
    op_pk_nfd_set(admon_pkptr, "Primitiva", CONNECT_ACK);
    op_pk_send(admon_pkptr, to_frad_strm);
    /* ESTADISTICAS DEL RETARDO DE CONEXION */
    op_pk_nfd_get(pkptr, "Retardo Ida", &ret_ida);
    ret_vuelta = op_sim_time()-op_pk_creation_time_get(pkptr);
    ret_con = ret_ida + ret_vuelta;
    op_stat_write(gsh_ret_conexion, ret_con);
    ret_con_total += ret_con;    ret_con_max_min_set(ret_con); num_con++;
    break;
};
op_ima_obj_attr_set(node_id, "Estado_Conexion", estado_conexion);
op_intrpt_schedule_remote(op_sim_time(), estado_conexion, app_mod_id);
op_pk_destroy(pkptr);

```

V.3 PLAN DE SIMULACIÓN

El plan de simulación se formuló en función de 3 aspectos primordiales: (a) la caracterización del tráfico generado por los usuarios, (b) el tiempo de simulación del sistema, necesario para obtener resultados de estado estable y (c) intervalos de confianza.

V.3.1 Definición del tráfico

La representación del tráfico generado por los dispositivos terminales (FRADs) proviene de fuentes diversas, tales como aplicaciones, terminales, redes, etc. La representación del comportamiento de estas fuentes es una parte crucial de la simulación. En la literatura disponible no se encontró referencia apropiada acerca del comportamiento probabilístico o estadístico de este tráfico que nos permitiera realizar el análisis de sensibilidad de la red al introducir la IWU, por lo que se desarrolló un plan de simulación en el cual se utilizan los parámetros que se muestran en la Figura 34.

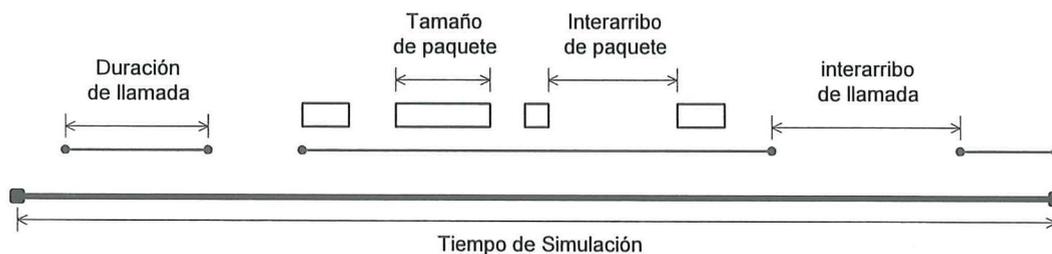


Figura 34. Descripción de los parámetros utilizados para definir el tráfico.

La Tabla XI lista las 4 posibles variables del tráfico y los valores considerados para las simulaciones. Estos mismos datos son utilizados para los 3 modelos.

Tabla XI. Valores para los parámetros utilizados para definir el tráfico.

Parámetro	Distribución	Tráfico A	Tráfico B	Tráfico C	Tráfico D
Interarribo de llamada (seg.)	Constante	1	1	60	60
Duración de llamada (seg.)	Constante	5	120	5	120
Interarribo de paquete (seg.)	Exponencial	0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0, 5.0			
Tamaño de paquete (bytes)	Uniforme	mínimo: 64 máximo: 1518			

Se manejan cuatro configuraciones de tráfico diferentes, con las cuales se tipifica la mayoría de los casos del universo de usuarios de redes FR/ATM. Estas configuraciones corresponden a las cuatro combinaciones de interarribo y duración de llamada cortos, e interarribo y duración de llamada largos.

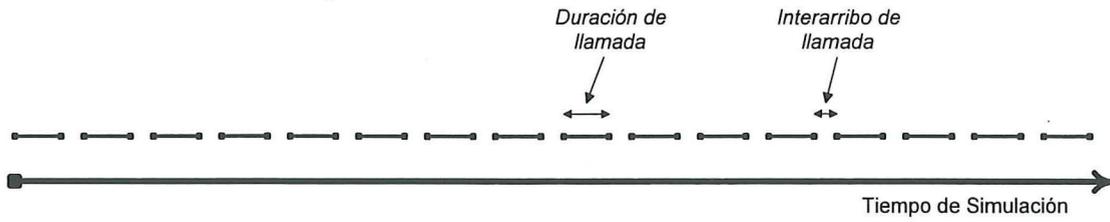
La Figura 35 visualiza la duración de llamada con una línea sólida (periodo en el cual se transmiten los paquetes) y el interarribo de llamada con un espacio vacío entre líneas sólidas (periodo en el cual no se transmite información), de acuerdo con los 4 tipos de tráfico que se han definido para la simulación (ver Tabla XI).

El interarribo de paquete describe la tasa en que llegarían los paquetes dentro de una llamada (línea sólida) establecida para un par de usuarios. En este parámetro se seleccionó una distribución exponencial, cuya media se hace variar de 0.1 seg. hasta 5.0 seg., correspondientes a interarribos de paquetes de intenso a esporádico.

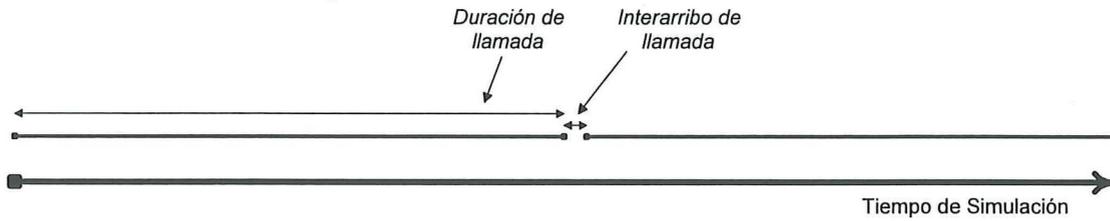
El tamaño de paquete se ha definido entre 64 y 1518 bytes, bajo la premisa de que el tráfico proviene de alguna red o dispositivo Ethernet, en donde éstos valores son el tamaño mínimo y máximo, respectivamente, para un paquete tipo Ethernet [Preciado, 1996].

Tráfico A

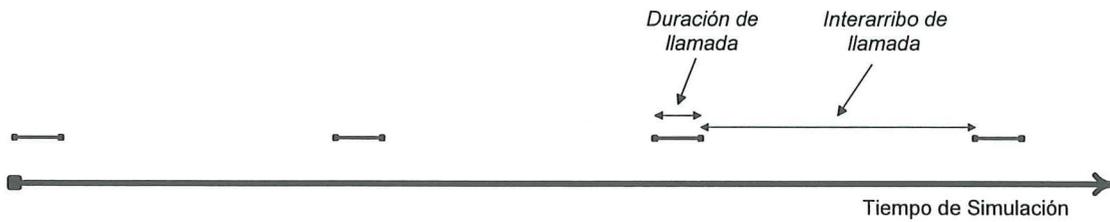
Duración de llamada = 5 seg.
Interarribo de llamada = 1 seg.

**Tráfico B**

Duración de llamada = 120 seg.
Interarribo de llamada = 1 seg.

**Tráfico C**

Duración de llamada = 5 seg.
Interarribo de llamada = 60 seg.

**Tráfico D**

Duración de llamada = 120 seg.
Interarribo de llamada = 60 seg.

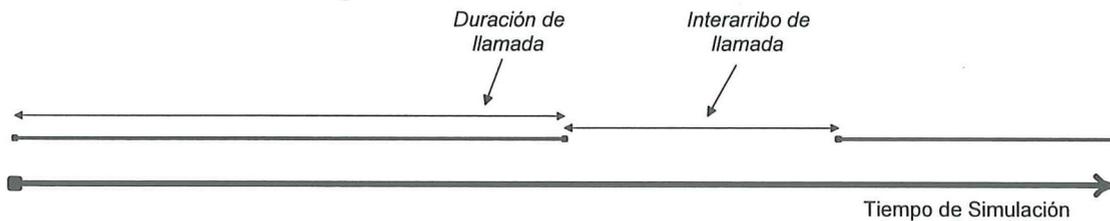


Figura 35. Visualización de la duración de llamada y el interarribo de llamada de los cuatro tipos de tráfico.

V.3.2 Determinación del tiempo de simulación del sistema

Para determinar el “tiempo de calentamiento” (*warm-up*), que es el tiempo después del cual el sistema se estabiliza y las lecturas de la simulación se consideran confiables, se efectuaron corridas de prueba de hasta 2500 segs. (aprox. 42 minutos). Obteniendo gráficas como la que se muestra en la Figura 36, que muestra el retardo extremo a extremo para el tráfico A con interarribo promedio de paquetes de 0.5 segs.

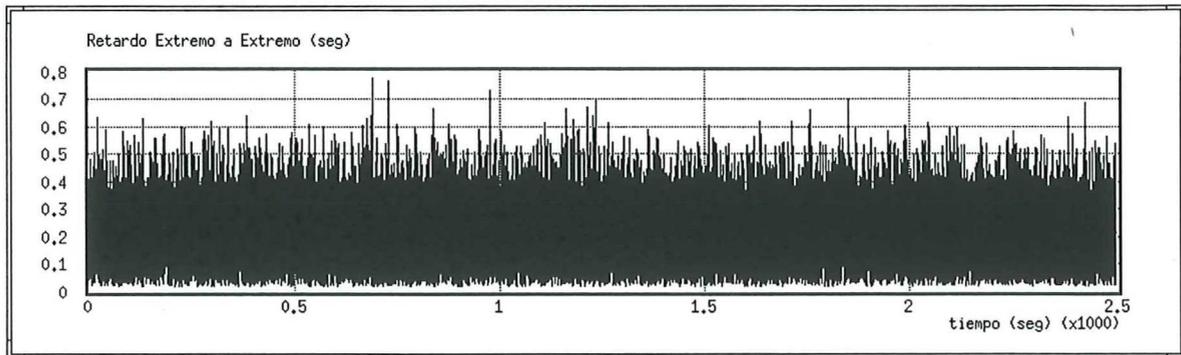


Figura 36. Retardo extremo a extremo con respecto al tiempo.

Debido a que de esta figura es difícil determinar en qué tiempo el sistema encuentra su estabilidad, se recurre a la promediación de las muestras para encontrar las tendencias (Figura 37). Se puede observar que el tiempo de calentamiento es de aprox. 300 segs., a partir de los cuales se puede afirmar que el sistema es estable. En este trabajo se decidió adoptar un tiempo de simulación de 1800 segs. (30 min.), que proporciona sobrada confiabilidad en los datos que se obtuvieron.

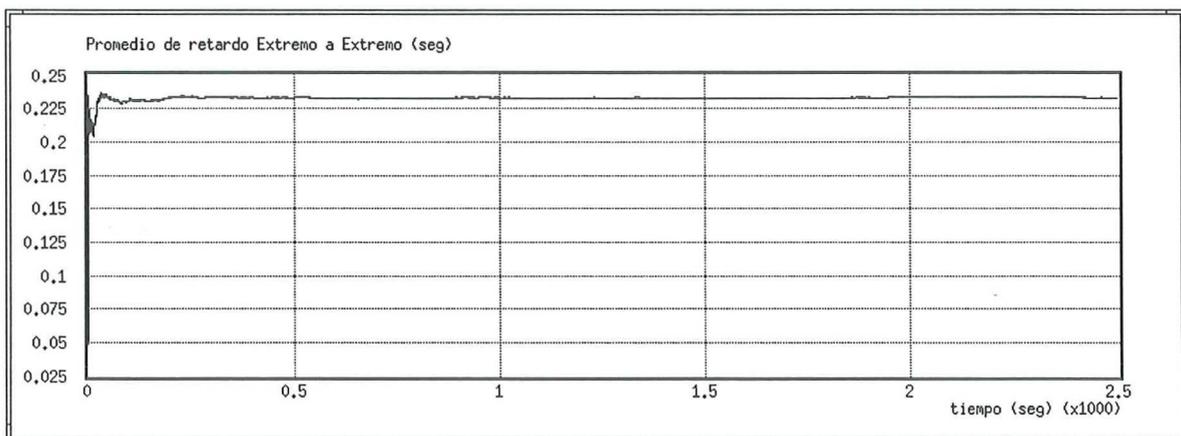


Figura 37. Promedio del retardo extremo a extremo con respecto al tiempo.

Una vez determinados el periodo de calentamiento y el tiempo de simulación de las corridas, no es necesario acumular las estadísticas como las mostradas en la Figura 36 y la Figura 37 (que además ocupan gran capacidad de espacio en disco duro). Tan solo se recuperó el promedio del retardo extremo a extremo al final de la simulación (a los 1800 segundos).

V.3.3 Intervalo de confianza

Se obtuvieron las estadísticas para un intervalo de confianza del 95%, para ello se fijaron 3 valores de semillas (3, 7, 12) para los generadores de valores pseudoaleatorios de las distribuciones de probabilidad. Se puede considerar que 3 cambios de semillas es el número mínimo requerido para eliminar tendencias que pudieran resultar de una sola semilla, y lograr intervalos de confianza lo más angostos posible.

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Antes de presentar los resultados obtenidos, sus gráficas e interpretación, a continuación se resume acerca del plan de simulación : (a) las premisas que le dan forma, (b) estadísticas del trabajo que demandó.

a) Premisas que le dan forma

- »»» 3 Modelos (PVC-FR, PVC-FR-ATM, SVC-FR-ATM).
- »»» 4 Tipos de tráfico (A, B, C, D).
- »»» 7 Valores de media para el interarribo de paquetes (0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0, 5.0 seg.).
- »»» 3 Semillas diferentes por cada simulación (3, 7, 12).

b) Estadísticas del trabajo que demandó

- »»» Se tuvieron 252 corridas con un tiempo efectivo de procesamiento de la estación de trabajo (SUN SPARCstation 20) de 173 horas.

A partir de los resultados obtenidos, se presenta una descripción y análisis de las redes estudiadas, desde cuatro perspectivas diferentes:

- »»» Efecto de la IWU sobre el desempeño de la red.
- »»» Carga introducida al sistema.
- »»» Retardo extremo a extremo.
- »»» Retardo de establecimiento de conexión en SVC.

VI.1 EFECTO DE LA IWU SOBRE EL DESEMPEÑO DE LA RED

La parte central de la interoperabilidad de las redes FR con ATM le corresponde a la IWU. En este trabajo se propone un modelo para la IWU lo más apegado posible a la realidad. La funcionalidad y especificaciones de operación de la IWU propuesta (Tabla X), permitían prever, sin necesidad de simulación, que su efecto en el desempeño general de la red FR-ATM sería mínimo. Los resultados confirman que no afecta significativamente el funcionamiento de las redes que interconecta, apareciendo como una funcionalidad “transparente”, que corresponde a la situación mas deseable.

VI.2 CARGA INTRODUCIDA AL SISTEMA

La determinación de la carga introducida a la red por cada tipo de tráfico es importante, puesto que da una medida del trabajo demandado a la red, y se complementa y correlaciona con los resultados obtenidos sobre el retardo extremo a extremo.

En la Figura 38 se muestra la carga que se introdujo al sistema durante toda la simulación (1800 segundos) para los diferentes tipos de tráfico con respecto al interarribo de paquete de paquete.

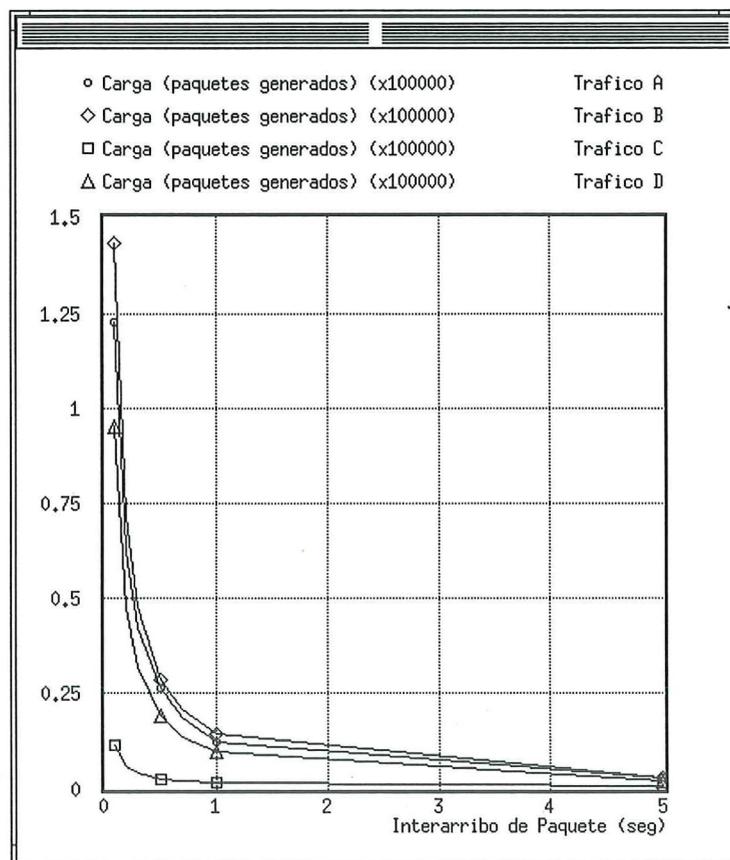


Figura 38. Carga para los diferentes tipos de tráfico.

De la Figura 38 se observa que mientras más pequeño es el interarribo de paquete, la carga ofrecida es mayor. Y de acuerdo a las características del tráfico (Tabla XI) se tiene mayor carga (como en el tipo de Tráfico B en donde se transmite durante periodos grandes

y muy frecuentes) o menor carga (como en el Tráfico C en donde se transmite durante periodos pequeños y distantes).

Las características que se definieron para el tráfico B hacen que este tipo de tráfico sea el que introduzca más carga al sistema, ya que tiene transferencia de información durante periodos de llamada grandes y de forma muy frecuente. De éste le sigue el tráfico A el cual también introduce tráfico muy frecuente pero con duraciones de llamada pequeños. Posteriormente se encuentra el tráfico D en el cual hay duraciones de llamada grandes pero se realizan con menos frecuencia que el tráfico A y B. Por último se tiene al tráfico C el cual tiene duraciones de llamada pequeñas y poco frecuentes, por consiguiente es el que genera menos tráfico.

Es necesario enfatizar que los valores mostrados en la gráfica corresponden a la carga acumulada durante toda la simulación (por todos los FRADs), más no describe como fue distribuida durante el periodo de la simulación. La distribución de esta carga depende del tipo de tráfico según se clasifica en la Tabla XI. Este concepto es importante porque, por ejemplo, si esa carga se distribuye uniformemente durante toda la simulación, la red podrá manejar la carga mas eficientemente y el retardo extremo a extremo se mantendrá a un mejor nivel. En el caso de que la carga se concentre solamente en intervalos cortos de tiempo, los almacenadores temporales tenderán a llenarse y así formar colas mas grandes en los conmutadores.

Por lo tanto, *“en el retardo extremo a extremo se involucra tanto la carga en el sistema como la distribución de ésta”*.

A manera de ejemplificar la distribución de la carga introducida por los cuatro diferentes tipos de tráfico se muestran las siguientes cuatro gráficas, que contienen las muestras de retardo extremo a extremo tomadas cuando un paquete arriba a su destino durante un periodo de observación de 500 segundos. El valor de la media para la función de distribución del interarribo de paquete que se utilizó es de 0.1 segundos. El tamaño del

paquete es el que se describe en la Tabla XI. Es de suma importancia tener en claro el hecho de que el tener mayor cantidad de muestras se debe a que ha habido más carga en el sistema.

La Figura 39 ejemplifica la distribución de la carga para el tipo de tráfico A (ver la Tabla XI y Figura 35:Tráfico A).

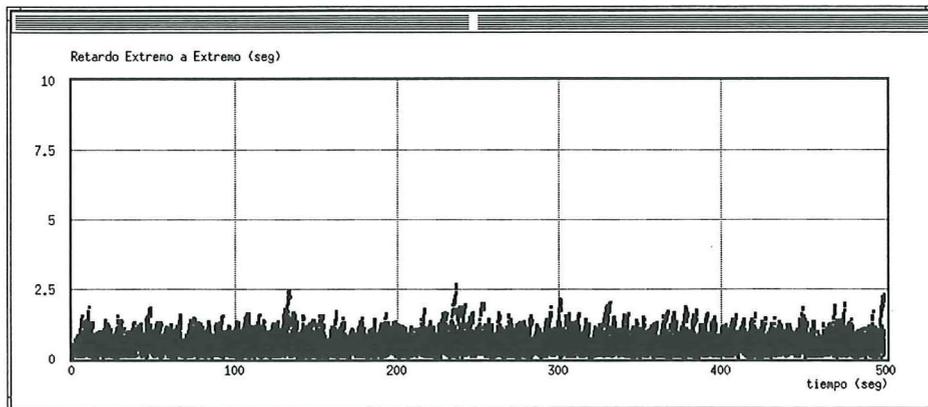


Figura 39. Muestras del retardo extremo a extremo para el tráfico A.

Como puede verse, la carga en este tipo de tráfico se encuentra distribuida de una manera uniforme durante todo el tiempo de simulación debido a que se tienen periodos de transmisión (duración de llamada) pequeños y periodos de no transmisión (interarribo de llamada) también pequeños. De allí que el retardo extremo a extremo se mantenga en valores estables.

La Figura 40 ejemplifica la distribución de la carga para el tipo de tráfico B (ver la Tabla XI y Figura 35:Tráfico B).

En este caso la duración de la llamada tiene una prolongación de 120 segundos contra un tiempo de no transmisión de tan solo 1 segundo. Esto produce una carga intensa al sistema, la cual no alcanza a liberarse totalmente durante el segundo que se tiene de no transmisión provocando un alto tráfico en el sistema y generando retardos grandes.

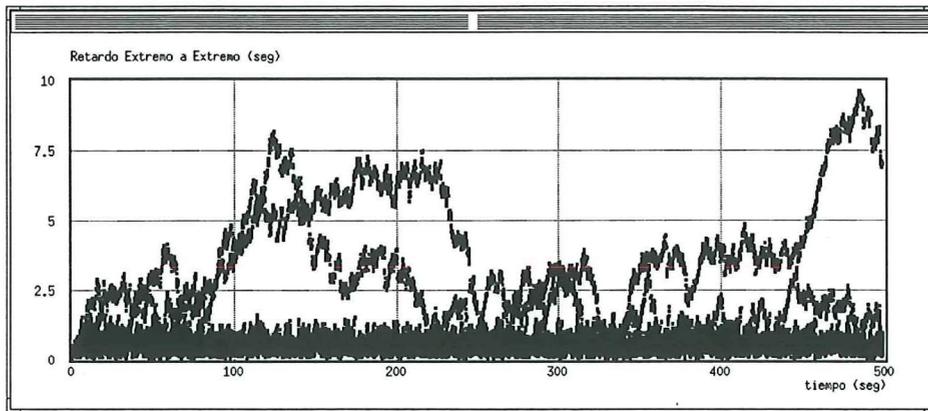


Figura 40. Muestras del retardo extremo a extremo para el tráfico B.

La Figura 41 ejemplifica la distribución de la carga para el tipo de tráfico C (ver la Tabla XI y Figura 35:Tráfico C).

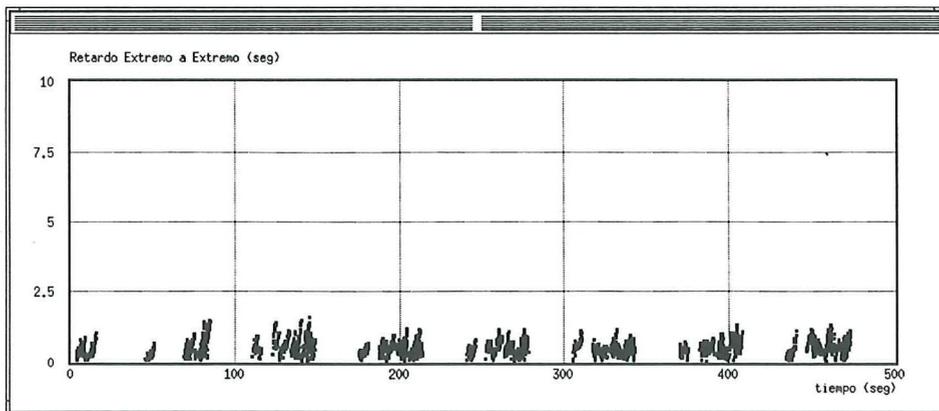


Figura 41. Muestras del retardo extremo a extremo para el tráfico C.

En este tipo de tráfico se tienen periodos grandes de no transmisión y cuando se transmite se hace por poco tiempo. Esto hace que el sistema tenga tiempo suficiente para procesar la pequeña cantidad de paquetes que se manejan dentro del sistema. Y en consecuencia se tienen retardos muy pequeños.

La Figura 42 ejemplifica la distribución de la carga para el tipo de tráfico D (ver la Tabla XI y Figura 35:Tráfico D).

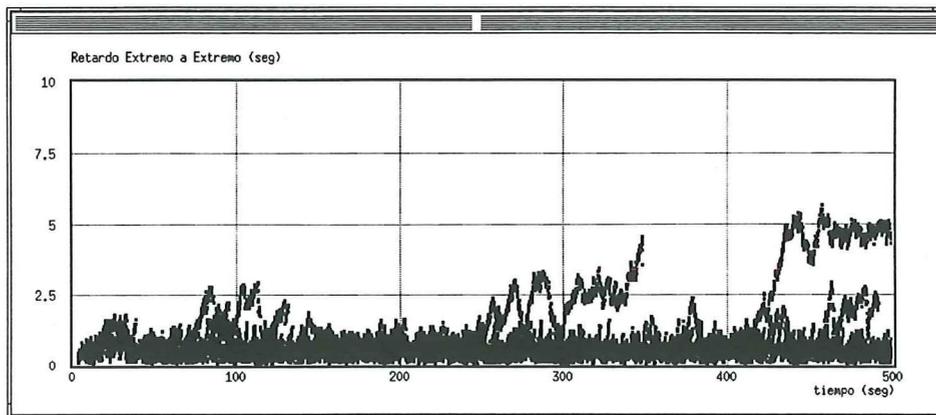


Figura 42. Muestras del retardo extremo a extremo para el tráfico D.

Este tipo de tráfico tienen periodos de transmisión grandes por lo que introduce una carga considerable, pero a la vez tiene periodos grandes de no transmisión lo que permite liberar gran parte del tráfico del sistema antes del siguiente periodo de transmisión. Las cargas intensas en esos periodos provocan que este tipo de tráfico tenga retardos grandes en determinados tiempos.

VI.3 RETARDO EXTREMO A EXTREMO

El retardo extremo a extremo es el tiempo que le toma a un paquete desde que el primer bit parte del origen hasta que el último bit llega a su destino. Dentro de esta trayectoria experimenta retardos de transmisión y retardos de procesamiento en los nodos. Los retardos de transmisión de nodo a nodo dependen de la tasa de transmisión del enlace. Los retardos de procesamiento pueden incluir retardos de segmentación/reensamble, conmutación, enrutamiento, colas (en los almacenadores temporales), etc. Estos retardos son determinísticos, a excepción de las colas, que son aleatorios, y puede variar dependiendo de que tan llenos estén los almacenadores temporales; entre más llenos estén mayor será el retardo para que un paquete recién llegado al nodo pueda ser procesado.

Se muestran las gráficas de retardo extremo a extremo contra interarribo de paquete para los 3 modelos que se implementaron. En general en estas gráficas puede observarse que cuando el interarribo de paquete es pequeño (mayor carga) el retardo extremo a

extremo es mayor. También puede verse que el retardo extremo a extremo en PVC-FR es mayor a PVC-FR-ATM y SVC-FR-ATM, mientras que SVC-FR-ATM es ligeramente mayor, en la mayoría de los casos, que PVC-FR-ATM.

En la Figura 43 se muestra el retardo extremo a extremo para el tráfico A (Interarribo de llamada: 1 seg., Duración de llamada: 5 seg., Tamaño de paquete: 64 a 1518 bytes).

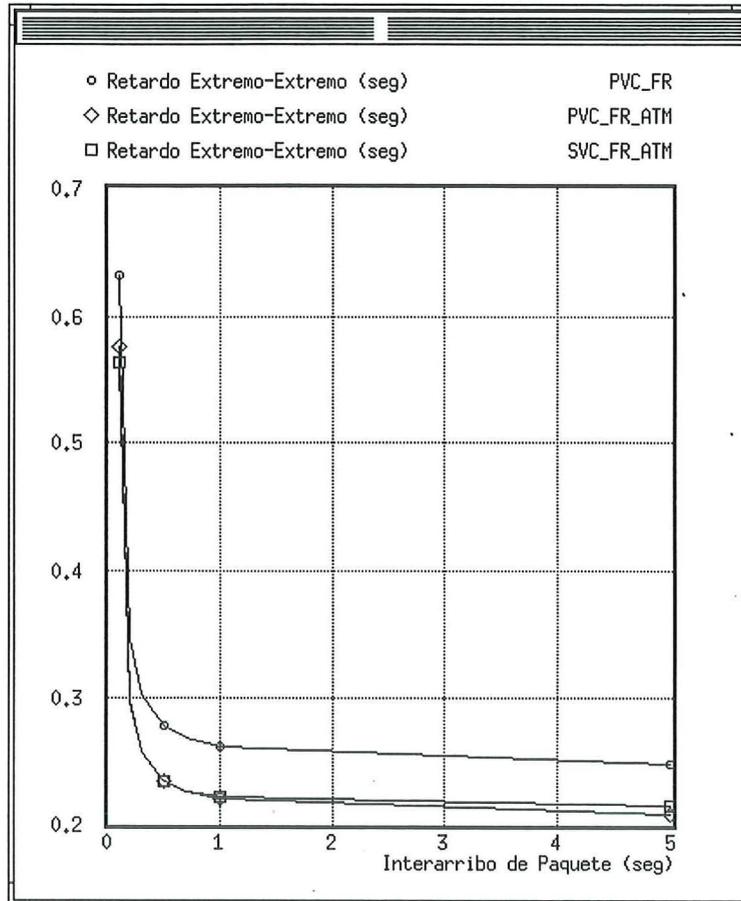


Figura 43. Retardo extremo a extremo para el tráfico A.

El modelo PVC-FR es el que contiene un mayor retardo mientras que el de PVC-FR-ATM y SVC-FR-ATM muestran un retardo muy parecido. Y el retardo en SVC-FR-ATM es mayor a PVC-FR-ATM. El retardo extremo a extremo máximo para el tráfico A está alrededor de 0.6 segundos.

En la Figura 44 se muestra el retardo extremo a extremo para el tráfico B (Interarribo de llamada: 1 seg., Duración de llamada: 120 seg., Tamaño de paquete: 64 a 1518 bytes).

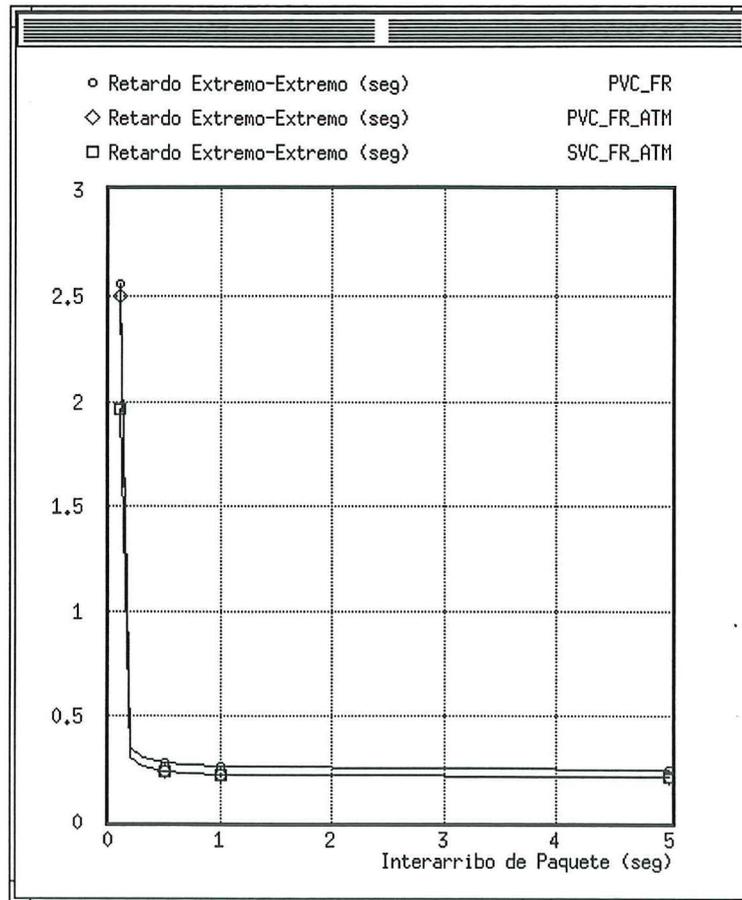


Figura 44. Retardo extremo a extremo para el tráfico B.

Los resultados son similares al anterior solo que el retardo máximo es mayor, alrededor de 2.5 segundos, esto debido a que la carga introducida por el tráfico B es mayor que la ofrecida por el tráfico A (ver Figura 38). El retardo para PVC-FR-ATM es mayor que el de SVC-FR-ATM para el interarribo de paquete de 0.1 seg. por lo que es importante mencionar que el intervalo de confianza del retardo extremo a extremo para PVC-FR-ATM es de 2.503 ± 1.83 seg. y para SVC-FR-ATM es 1.961 ± 3.36 seg.

En la Figura 45 se muestra el retardo extremo a extremo para el tráfico C (Interarribo de llamada: 60 seg., Duración de llamada: 1 seg., Tamaño de paquete: 64 a 1518 bytes).

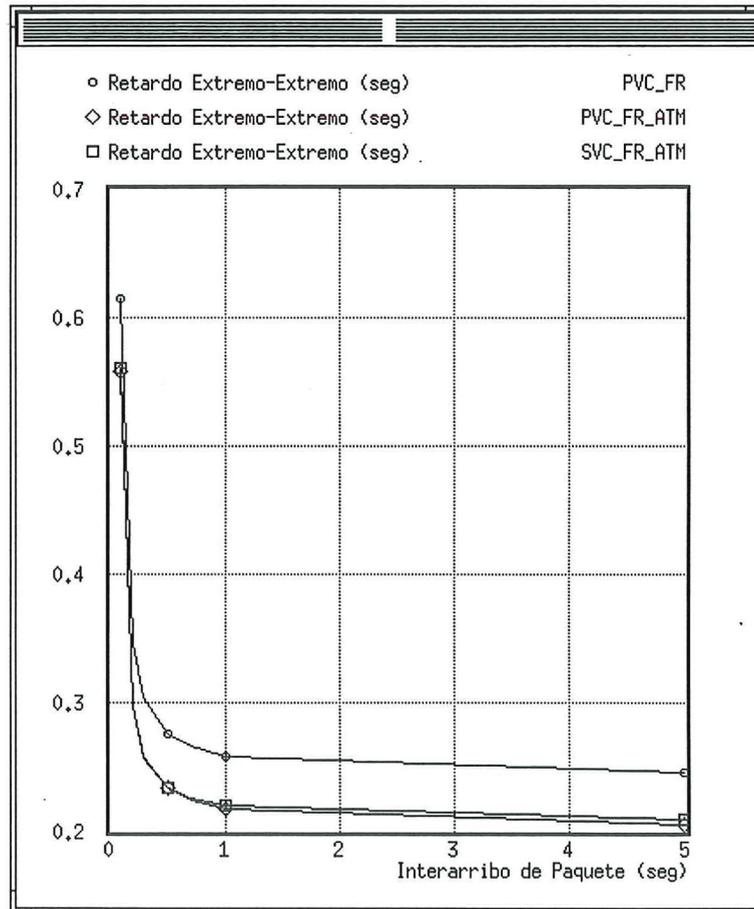


Figura 45. Retardo extremo a extremo para el tráfico C.

Aquí puede verse, para todos los interarribos, como el retardo de PVC-FR es mayor que el de SVC-FR-ATM y este último a su vez mayor que el de PVC-FR-ATM. También se observa que el retardo máximo es menor que el del tráfico A. Este hecho es fácilmente comprensible considerando que éste tráfico introduce muy poca carga y no muy frecuente.

En la Figura 46 se muestra el retardo extremo a extremo para el tráfico D (Interarribo de llamada: 60 seg., Duración de llamada: 120 seg., Tamaño de paquete: 64 a 1518 bytes).

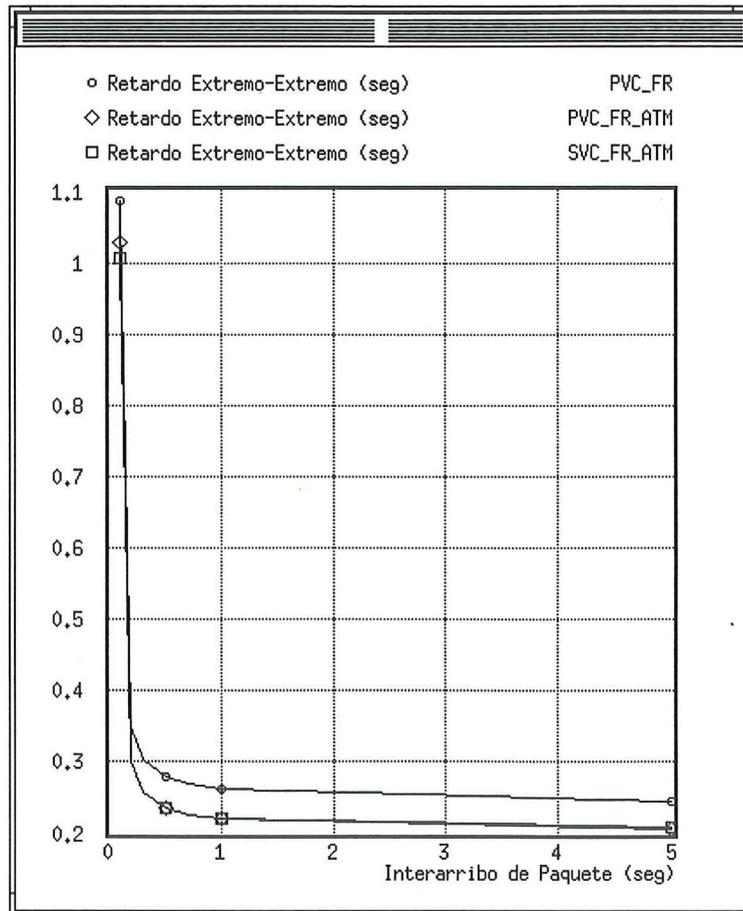


Figura 46. Retardo extremo a extremo para el tráfico D.

Para el interarribo de paquete de 0.1 seg. el modelo PVC-FR-ATM tiene un retardo de 21 ms mayor que el que se tiene con SVC-FR-ATM, una cantidad no muy grande. El retardo extremo a extremo con el intervalo de confianza para PVC-FR-ATM es de 1.0287 ± 0.272 seg. y de 1.0075 ± 0.172 para SVC-FR-ATM.

Ordenando de mayor a menor el retardo extremo a extremo, obtenemos de acuerdo al tipo de tráfico que $B > D > A \approx C$. Correlacionando con la gráfica de carga (Figura 38) encontramos que el retardo del tráfico D es mayor que el del tráfico A, no obstante que el tráfico A introduce mas carga a la red que D. La explicación a esto consiste en las

características del tráfico A, que hace que la carga se distribuya de una manera uniforme durante toda la simulación (ver Figura 39); mientras que las características del tráfico D hacen que la carga se concentre en algunos intervalos (ver Figura 42), produciendo en esos intervalos mayor tiempo de almacenamiento que el tráfico A.

En las cuatro gráficas se aprecia que el tiempo de interarribo ($t-i$) de 0.5 seg. marca una división entre dos áreas de comportamiento diferente del retardo extremo a extremo. Entre $0 < t-i < 0.5$ segs. el retardo extremo a extremo esta en el orden de 0.3 seg. a 2.5 segs, es decir, valores altos para comunicaciones digitales. En tanto que a tiempos de interarribo mayores de 0.5 seg. el retardo extremo a extremo se localiza entre 0.2 - 0.3 seg, o sea, valores típicos en comunicación de datos.

VI.4 RETARDO DE ESTABLECIMIENTO DE CONEXIÓN EN SVC

Por último, se analizó el retardo promedio de conexión para el modelo SVC-FR-ATM (Figura 47). El retardo de conexión es el tiempo que transcurre para establecer una trayectoria virtual entre los extremos involucrados. Este concepto no es aplicable en los casos PVC-FR y PVC-FR-ATM porque la trayectoria virtual esta prefijada, y es siempre la misma entre el mismo par de usuarios finales.

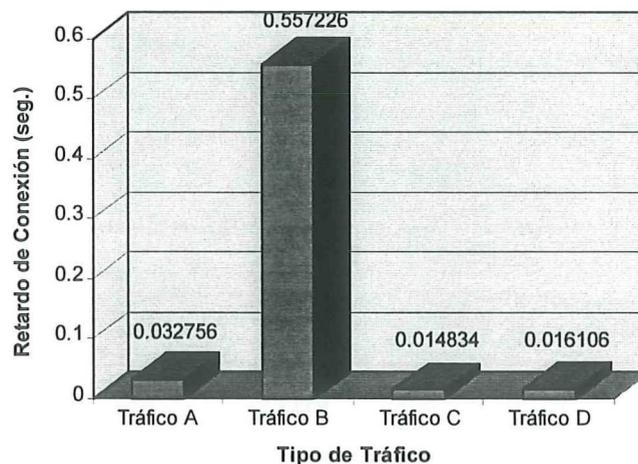


Figura 47. Retardo de conexión para los diferentes tipos de tráfico.

Es significativo lo que muestra la Figura 47 en cuanto a la diferencia del caso B respecto a los otros tres. En los casos A, C, y D el retardo de conexión es menor o igual a 32 milisegundos. en tanto que el B llega al medio segundo, una diferencia de mas de un orden de magnitud. El retardo promedio de B para establecer una conexión es un indicador de un posible cuello de botella si se dan condiciones de tráfico mas intensas, ameritando un análisis posterior mas profundo para determinar las causas y así proponer medidas correctivas.

Aunque hay ligeras diferencias entre las magnitudes de los retardos de conexión de los casos A, C, y D, se pueden considerar normales debido a la diferencia de intensidad de los tráficos respectivos.

El retardo de conexión resultó menor al retardo extremo a extremo, a pesar de que para establecer una conexión es necesario un mensaje de ida (ESTABLECIMIENTO) y otro de regreso (CONEXIÓN), en tanto que el retardo extremo a extremo solo involucra el viaje de origen a destino. La explicación de esto está en el tamaño del paquete que se transmite, el cual para el mensaje de señalización es de 27 octetos [Stallings, 1995], mientras que el tamaño del paquete de los datos de usuario esta entre 64 y 1518 octetos (mas los 6 octetos de sobrecargo de la trama de Frame Relay en ambos casos).

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VII.1 RESUMEN

Para lograr el objetivo de este trabajo se estudió, analizó y resumió el funcionamiento y los protocolos tanto de la tecnología de Frame Relay como de la tecnología ATM. De tal descripción puede verse que la tecnología Frame Relay es más sencilla que la de ATM; a pesar de esto, se pudieron observar algunas de las similitudes de funcionamiento que estas tecnologías poseen (ej: multicanalización, manejo de prioridad, conmutación, funciones de señalización, etc.).

Mas sin embargo estas tecnologías se rigen por medio de protocolos diferentes, para el transporte de la información Frame Relay utiliza "tramas" que son de longitud variable, y ATM utiliza "celdas" las cuales tienen una longitud fija. De igual forma, los campos del encabezado de las tramas y celdas difieren aunque la utilidad de estos sea parecida. Por estas razones es necesario introducir funciones de interoperabilidad, las cuales proporcionan el medio por el cual estas dos tecnologías se pueden integrar.

Las funciones de interoperabilidad para FR/ATM cuando se hace uso de PVC ya han sido definidas por los foros de Frame Relay y ATM en dos recomendaciones (FRF.5 y FRF.8), por lo que se realizó un estudio sobre estas recomendaciones de tal manera que se pudiera aprovechar parte de ellas en la definición de la interoperabilidad de FR/ATM con el uso de SVC. Es posible utilizar parte del trabajo que se realizó para la interoperabilidad con PVC, debido a que, una vez establecida la conexión en SVC, el funcionamiento para la transmisión de la información (plano de usuario) de SVC es igual al de PVC. Esto es, el modo de conexión cuando se utiliza SVC, en lugar de PVC, solo difiere en la forma de establecer, manejar y liberar las conexiones (plano de control).

En este trabajo se propone el modo de funcionamiento del elemento de red denominado IWU, entidad indispensable para la interoperabilidad FR / ATM para SVC en la interconexión de redes Frame Relay con el uso de una dorsal ATM. Se propuso que las

funciones de interoperabilidad trabajen tanto en el plano de usuario, para el transporte de la información, como en el plano de control, para el manejo de la señalización en el establecimiento/liberación y control de las conexiones. Se describieron las traslaciones y conversiones necesarias para que ambas tecnologías puedan interfuncionar.

Con el propósito de comprobar la propuesta efectuada, se implementó la IWF en una red WAN operando mediante FR/ATM con SVC, por medio de técnicas y herramientas de simulación por computadora. Para esto se escogió el paquete de simulación OPNET, que proporciona un ambiente que permite modelar, simular y analizar el desempeño de redes de comunicaciones de manera eficiente.

Para validar tanto la propuesta de la IWF para SVC, como la prueba de la IWF en la red WAN mencionada, se decidió simular también los sistemas WAN que ya existen operacionalmente, es decir PVC-FR y PVC-FR-ATM, lo cual nos proporcionaría una referencia contra la cual efectuar un análisis comparativo con el esquema SVC.

Se desarrolló un plan de simulación en el cual se propusieron cuatro diferentes tipos de tráfico que permitiera efectuar un análisis de sensibilidad en los modelos, principalmente del retardo extremo a extremo y el retardo de conexión en el modelo que utiliza SVC.

VII.2 CONCLUSIONES

En base a los resultados de las simulaciones se obtuvieron las siguientes observaciones:

- » El modelo que implementa la IWU propuesta, la cual le proporciona la capacidad de establecer *conexiones conmutadas* (SVC-FR-ATM), presenta retardos extremo-extremo ligeramente mayores al modelo de PVCs (PVC-FR-ATM) [menores a 30 mseg.]. Esto es atribuible al retardo para el establecimiento de la trayectoria de transporte, previo a la transferencia de la información. Operativamente este retardo es insignificante, en tanto que lo obtenido a cambio permite que un usuario se conecte en cualquier

momento con cualquier otro usuario, y no este atado a un solo destino como sucede con PVC.

- »» Sa validó la consistencia de la IWU propuesta, al comparar su funcionamiento en una red FR/ATM SVC con los de redes existentes (PVC-FR y PVC-FR-ATM). No se pretende que esta propuesta no requiera adiciones y/o modificaciones, sino que es un punto de partida para una mayor comprensión y desarrollo de redes FR/ATM SVC.
- »» En cuanto al retardo de conexión en el modelo SVC-FR-ATM, pudo observarse que es relativamente pequeño (< 32 mseg en los peores casos) debido a que el tamaño del paquete necesario para transportar el mensaje de señalización es pequeño, a comparación del tamaño de paquete necesario para transmitir la información de usuario.
- »» Se logró localizar una condición de peligro en cuanto a la calidad del servicio ofrecido, en la condición de máxima carga del tráfico B, en la cual los tiempos promedios de establecimiento de un enlace fueron del orden de medio segundo. Este retardo amerita profundizar en las causas que lo motivan, para evitar que una red real llegue a estos extremos de operación.
- »» Se observó, que el retardo extremo a extremo no depende tanto de una máxima cantidad total de mensajes manejados durante una jornada de trabajo, sino de la distribución de la carga en el tiempo.
- »» Además pudo verse que el modelo en donde se usa solamente tecnología FR (PVC-FR) tiene mayor retardo que en los modelos en donde se introduce la dorsal ATM (PVC-FR-ATM y SVC-FR-ATM).

Con este trabajo se estableció una plataforma desde la cual ampliar la investigación sobre la interoperabilidad entre las redes FR y ATM en el CICESE tanto desde el punto de vista conceptual, como de simulación e implementación. En esta línea existen muchos aspectos por resolver tanto para los foros internacionales como los laboratorios de investigación.

VII.3 RECOMENDACIONES

A partir de este trabajo y en base a las conclusiones surgen las siguientes recomendaciones y comentarios:

- »» Como la interoperabilidad FR/ATM con SVC esta siendo estudiada por los foros de FR y ATM, y quizás la publiquen este año, será interesante compararla con la desarrollada en este trabajo.
- »» La interoperabilidad propuesta en este trabajo se realiza en la UNI tanto de Frame Relay como de ATM, al igual que en la especificación para la interoperabilidad con PVC, pero sería recomendable analizar tal interoperabilidad en la NNI.
- »» Modificar la topología para adecuarla a alguna topología ya existente y además describir el tráfico para ciertas fuentes en específico (por lo regular LANs).
- »» Analizar el impacto del retardo de conexión cuando existen cargas intensivas, como en el tráfico B, ya que esto afectará la calidad de servicio en SVC.

L I T E R A T U R A C I T A D A

- Alles, Anthony. 1995. "ATM Interworking". Cisco Systems, Inc. 58 pp.
- ATM Forum. 1994. "ATM User-Network Interface Specification 3.1". The ATM Forum Technical Committee. 396 pp.
- Black, Uyless. 1994. "Emerging Communications Technologies". Prentice Hall. New Jersey. 428 pp.
- Davidson, Robert and N. Muller. 1992. "Interworking LANs: Operation, Design, and Management". Artech House. Boston. 550 pp.
- GS Comunicaciones. 1996. "Tópicos en telecomunicaciones: Redes de Datos". GS Comunicaciones. Guadalajara, Jal. 193 pp.
- McDysan, David and D. Spohn. 1995. "ATM: Theory and Application". McGraw-Hill Series on Computer Communications. New York. 636 pp.
- Mil3. 1997. "OPNET Modeling Manual". Mil3, Inc. Volume 1.
- Minoli, Daniel and M. Vitella. 1994. "ATM & Cell Relay Service for Corporate Environments". McGraw-Hill Series on Computer Communications. New York. 384 pp.
- Newbridge. 1996. "Frame Relay Switch Card". Newbridge Networks Corporation. Canada.
- Newbridge. 1996. "36120 MainStreet Packet Transfer Exchange". Newbridge Networks Corporation. Canada.
- Newbridge. 1996. "FRATM Interworking Unit". Newbridge Networks Corporation. Canada.
- Newbridge. 1996. "MainStreet Xpress 36170". Newbridge Networks Corporation. Canada.

LITERATURA CITADA (CONT.)

- Newbridge, 1995. "The next stage in Frame Relay Networking". Newbridge Networks Corporation. Canada.
- Onvural Raif, H. Sandick and R. Cherukuri. 1994. "Structure and use of signaling in B-ISDNs". *Computer Networks and ISDN Systems* 28 (1996). 307-323.
- O'Leary, Doug. 1994. "Frame Relay / ATM PVC Network Interworking Implementation Agreement". Frame Relay Forum, FRF.5.
- O'Leary, Doug. 1995. "Frame Relay / ATM PVC Service Interworking Implementation Agreement". Frame Relay Forum, FRF.8.
- Preciado Jorge, 1996. "Curso de Redes Locales de Datos". CICESE.
- RACE 421, Specification. 1994. "General Principles of Interworking". Issue E.
- RAD Data Communications, 1996. "Productos para la comunicación de datos". RAD América Latina S.A. Argentina.
- Recommendation I.555, 1993. "Frame Relay Bearer Service Interworking". ISDN Experts Group.
- Sudhir, Dixit and E. Stuart. 1996. "Frame Relay and ATM Interworking". *IEEE Communications Magazine*. (June): 64-82.
- Stallings William. 1995. "ISDN and Broadband ISDN with Frame Relay and ATM". Prentice Hall, Third Edition. New Jersey. 581 pp.
- Stern Dan and Mazella Frank. 1996. "Norm Al Dude and Professor N. Erd on the subject of ATM". SCAN Technologies.

ANEXO A. CIRCUITOS VIRTUALES

Los usuarios finales, que usan terminales o computadoras, se comunican a través de un canal de comunicaciones llamado *circuito físico*. Estos circuitos físicos son conocidos también como *canales*, *enlaces*, *líneas*, o *troncales*. Los circuitos físicos pueden ser configurados de tal forma que dos usuarios se comuniquen directamente uno con otro a través de un circuito, y nadie utilice éste circuito excepto estos dos usuarios.

En sistemas más complejos, como lo son las redes, los circuitos son compartidos con más de un usuario. Dentro de una red, los circuitos físicos terminan en dispositivos intermedios que proporcionan servicios de transmisión a otros circuitos. Estos dispositivos son conocidos como *conmutadores*, *enrutadores*, *puentes*, *pasarelas*, etc. Éstos son responsables de transmitir el tráfico entre los usuarios que se están comunicando.

Esta configuración puede dar como resultado que varios usuarios estén compartiendo un circuito físico. Debido a que algunos canales de comunicación tienen la capacidad para soportar más de una sesión por usuario, el dispositivo de red (como el conmutador o el multiplexor) es responsable de enviar y recibir tráfico de múltiples usuarios hacia (o desde) un circuito.

En una configuración ideal, un usuario no está enterado que el circuito físico es compartido con otros usuarios, ya que el proveedor lo hace que sea de forma transparente para todos. Más aún, en esta situación ideal, el usuario piensa que el circuito conecta directamente solamente a las dos partes que se están comunicando.

El término *circuito virtual*⁵ es usado para describir un circuito compartido (o circuitos) en donde los usuarios del circuito no se dan cuenta que el circuito está siendo compartido.

⁵ El término fue derivado de la arquitectura de la computadora en la cual los usuarios finales perciben que la computadora tiene más memoria que la que existe actualmente. Esta otra memoria "virtual" es actualmente almacenada en disco duro.

Debido a que ciertas tecnologías son orientadas a conexión, como Frame Relay y ATM, es necesario un establecimiento previo de una sesión, entre los dispositivos finales a comunicarse, antes de la transferencia de información. En esta fase de establecimiento se logra reservar un circuito virtual de la red para la sesión.

El establecimiento de conexión puede realizarse por medio de Circuitos Virtuales Permanentes (PVC) o bien, a través de Circuitos Virtuales Conmutados (SVC).

El establecimiento de conexión en PVC se realiza de manera manual. Los administradores de la red configuran cada dispositivo intermedio involucrado en la trayectoria que conecta a los dispositivos finales que desean comunicarse. Esta configuración se realiza solamente una vez, proporcionando una conexión fija, entre dos usuarios dados, disponible en cualquier momento.

Por otro lado, el establecimiento de conexión en SVC se realiza de manera automática mediante software con una serie de mensajes que conforman un protocolo de señalización. Este protocolo de señalización es el encargado de establecer una conexión cada vez que el usuario desea transmitir información, y de liberar la conexión cuando se termine de transmitir.

ANEXO B. OPNET MODELER

OPNET (OPTimized Network Engineering Tools) es una herramienta de simulación que proporciona un ambiente de desarrollo que permite modelar, simular y analizar el desempeño de redes de comunicaciones y sistemas distribuidos. El comportamiento y desempeño de los sistemas es analizado por simulaciones de eventos discretos [Mil 3, 1997].

Algunas de las características de OPNET son:

- »»» Orientado a objetos.
- »»» Especializado en redes de comunicación y sistemas de información.
- »»» Modelado jerárquico.
- »»» Especificación de modelos por medio de editores gráficos.
- »»» Flexibilidad para desarrollar modelos detallados de acuerdo a las necesidades.
- »»» Las especificaciones del modelo son automáticamente trasladadas a lenguaje C y posteriormente compiladas generando el programa ejecutable.
- »»» Incluye herramientas de análisis.
- »»» Incorpora soporte para el análisis a través de un depurador interactivo.
- »»» Las simulaciones pueden ser configuradas para generar, automáticamente, animaciones del sistema modelado a varios niveles.

DESARROLLO DE MODELOS EN OPNET

OPNET soporta la especificación del modelo mediante cuatro editores que capturan las características del sistema modelado. Los Editores de Red, Nodo, Proceso y Parámetros están organizados en una forma jerárquica. Las especificaciones del modelo desarrolladas en el Editor de Red dependen de elementos especificados en el Editor de Nodo; a la vez, cuando se trabaja en el Editor de Nodo, el desarrollador hace uso de modelos definidos en

el Editor de Proceso. El Editor de Parámetros es usado para definir varios modelos de datos, típicamente tablas de valores, que son referenciados por modelos al nivel de Nodo ó Proceso.

Los editores presentan una interfaz gráfica en la cual el usuario manipula los objetos representando los componentes y estructura del modelo. Cada editor tiene su propio conjunto específico de objetos y operaciones que son apropiados para la tarea de modelado en la cual se está enfocando (ver Figura 48). Los ambientes de modelado de Red, Nodo y Proceso son referenciados como “dominios” de modelado de OPNET.

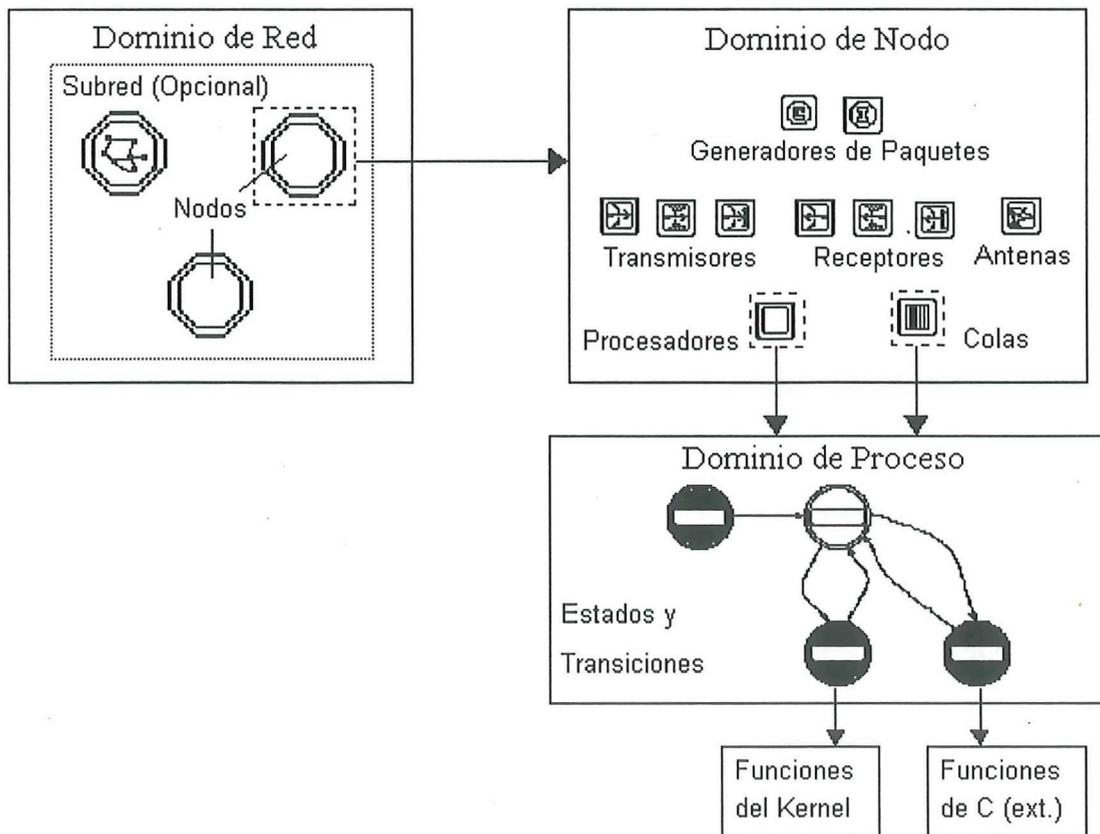


Figura 48. Dominios de desarrollo de OPNET.

Dominio de Red

En el dominio de red se define la topología del sistema que se va analizar. Las entidades que se comunican son llamadas *nodos* (en el mundo real pueden corresponder a enrutadores, estaciones de trabajo, servidores de archivos, conmutadores, satélites, etc.) y las capacidades específicas de cada nodo son definidas diseñando su modelo (en el Editor de Nodo). Los nodos pueden ser fijos, móviles ó satelitales. Para la comunicación entre los nodos se proporcionan enlaces punto a punto, enlaces de datos y enlaces de radio.

Dominio de Nodo

El dominio de nodo cuenta con bloques, llamados *módulos*, los cuales sirven para expresar los modelos de nodo. Entre estos módulos se tienen generadores de mensajes, transmisores, receptores, procesadores y colas. De éstos, los procesadores y las colas pueden ser programados; su comportamiento se describe asignándoles un modelo de proceso el cual se desarrolla en el Editor de Procesos. Para conectar los módulos se usan *streams* (permiten transportar paquetes) y *statwires* (permiten transportar información de control).

Dominio de Proceso

En el dominio de proceso se desarrollan los modelos de proceso que describen las tareas que los procesadores ó colas deben realizar. El Editor de Procesos expresa los modelos de proceso en un lenguaje llamado **Proto-C**, el cuál esta específicamente diseñado para soportar el desarrollo de protocolos y algoritmos. Proto-C está basado en una combinación de diagramas de transición de estados, una librería de comandos de alto nivel conocidos como procedimientos del kernel (más de 270 funciones), y los recursos generales del lenguaje de programación C.

SIMULACIÓN Y COLECCIÓN DE DATOS

Para coleccionar los datos deseados de una ó mas simulaciones de un sistema se pueden utilizar vectores de salida (*output vectors*) ó escalares de salida (*output scalars*). Los vectores representan el valor de alguna cantidad de interés con respecto al tiempo. Los escalares de salida contienen valores de estadística individuales.

La herramienta de simulación proporciona un ambiente para configurar y ejecutar una ó un grupo de simulaciones en las cuales se especifican los siguientes atributos: modelo a simular, archivo de pruebas, archivo del vector de salida, archivo de los escalares de salida, semilla, duración, nombre de argumento(s) y su valor.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Mediante la herramienta de análisis se capturan los archivos de los vectores y escalares de salida que se coleccionaron durante la(s) simulación(es). Los datos de esos archivos pueden ser graficados de diferentes maneras (puntos discretos, con líneas, en barras, etc.). Además existen filtros (operaciones sobre los datos) que pueden ser aplicados a los vectores o escalares de salida. De igual forma se pueden calcular intervalos de confianza, con diferentes grados de libertad.

ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES

AAL

ATM Adaptation Layer: *Capa de Adaptación a ATM.*

ABR

Available Bit Rate: *Tasa de Bit Disponible.*

ANSI

American National Standards Institute: *Instituto de Estándares Nacional Americano.*

ARP

Address Resolution Protocol: *Protocolo de Resolución de Dirección.*

ATM

Asynchronous Transfer Mode: *Modo de Transferencia Asíncrono.*

Be

Burst Excess: *Ráfaga de Exceso.*

BECN

Backward Explicit Congestion Notification: *Notificación de Congestión Explícita hacia Atrás.*

Bc

Burst Committed: *Ráfaga Comprometida.*

B-ISDN

Broadband Integrated Services Digital Network: *Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha.*

B-ISUP

B-ISDN User Part: *Parte de Usuario de B-ISDN.*

CAC

Connection Admission Control: *Control de Admisión de Conexión.*

CAD/CAM

Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing: *Diseño y Manufactura Asistido por Computadora.*

CBR

Constant Bit Rate: *Tasa de Bit Constante.*

CCITT

Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique: *Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía.*

CDV

Cell Delay Variation: *Variación de Retardo de Celda.*

CICESE

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.

CIR

Committed Information Rate: *Tasa de Información Comprometida.*

CLLM

Consolidated Link Layer Management: *Administración de Capa de Enlace Consolidada.*

CLP

Cell Loss Priority: *Prioridad de Pérdida de Celda.*

CMIP

Common Management Information Protocol: *Protocolo de Información de Administración Común.*

CPCS

Common Part Convergence Sublayer: *Subcapa de Convergencia de Parte Común.*

CPCS-UU

CPCS-User to User: *CPCS-Usuario a Usuario.*

CPE

Customer Premises Equipment: *Equipo base del Cliente.*

CPI

Common Part Indicator: *Indicador de Parte Común.*

CRC

Cyclic Redundancy Check: *Revisión de Redundancia Cíclica.*

CS

Convergence Sublayer: *Subcapa de Convergencia*.

DE

Discard Eligibility: *Elegibilidad de Descarte*.

DLCI

Data Link Connection Identifier: *Identificador de Conexión de Enlace de Datos*.

DSS2

Digital Signaling System 2: *Sistema de Señalización Digital #2*.

EA

Extended Address: *Extensión de Dirección*.

EFCI

Explicit Forward Congestion Indication: *Indicación Explícita de Congestión hacia Adelante*.

EIR

Excess Information Rate: *Tasa de Información en Exceso*.

FDDI

Fiber Distributed Data Interface: *Interfaz de Datos Distribuida por Fibra*.

FECN

Forward Explicit Congestion Notification: *Notificación de Congestión Explícita hacia Adelante*.

FR

Frame Relay.

FRAD

Frame Relay Access Device: *Dispositivo de Acceso a Frame Relay*.

FRF

Frame Relay Forum: *Foro de Frame Relay*.

FRM

Fast Resource Management: *Administración Rápida de Recurso*.

FR-SSCS

Frame Relay - Service Specific Convergence Sublayer: *Subcapa de Convergencia Específica al Servicio de Frame Relay*.

FTP

File Transfer Protocol: *Protocolo de transferencia de Archivo*.

GCRA

Generic Cell Rate Algorithm: *Algoritmo Genérico de Tasa de Celda*.

GFC

Generic Flow Control: *Control de Flujo Genérico*.

HEC

Header Error Check: *Revisión de Error de Encabezado*.

IETF

Internet Engineering Task Force.

IP

Internet Protocol: *Protocolo de Internet*.

ISDN

Integrated Services Digital Network: *Red Digital de Servicios Integrados*.

ITU-T

International Telecommunication Union - Telecommunication Sector: *Sector de Telecomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones*.

IWF

InterWorking Function: *Función de Interoperabilidad*.

IWU

InterWorking Unit: *Unidad de Interoperabilidad*.

LAN

Local Area Network: *Red de Area Local*.

LLC

Link Layer Control: *Control de Enlace de Datos*.

LMI

Local Management Interface: *Interfaz de Administración Local*.

MBS

Maximum Burst Size: *Tamaño Máximo de Ráfaga.*

MTP3

Message Transfer Protocol 3: *Protocolo de Transferencia de Mensaje #3.*

NLPID

Network Layer Protocol Identifier: *Identificador de Protocolo de Capa de Red.*

NNI

Network to Network Interface: *Interfaz de Red a Red.*

NPC

Network Parameter Control: *Control de Parámetro de Red.*

NSAP

Network Service Access Point: *Punto de Acceso al Servicio de Red.*

OAM

Operations, Administration and Maintenance: *Operaciones, Administración y Mantenimiento.*

OPNET

Optimized Network Engineering Tools: *Herramientas Optimizadas de Ingeniería de Red.*

OSI

Open System Interconnection: *Interconexión de Sistemas Abiertos.*

PAD

PADding: *Relleno.*

PC

Priority Control: *Control de Prioridad.*

PCR

Peak Cell Rate: *Tasa de Celda Pico.*

PDU

Protocol Data Unit: *Unidad de Datos de Protocolo.*

PHY

Physic Layer: *Capa Física.*

PMD

Physical Medium Dependent: *Dependiente del Medio Físico.*

PT

Payload Type: *Tipo de Carga Útil.*

PVC

Permanent Virtual Circuit: *Circuito Virtual Permanente.*

QoS

Quality of Service : *Calidad de Servicio.*

RFC

Request for Comments.

RM

Resource Management: *Administración de Recurso de Red.*

SAAL

Signaling ATM Adaptation Layer: *Capa de Adaptación a ATM de Señalización.*

SAP

Service Access Point: *Punto de Acceso al Servicio.*

SAR

Segmentation And Reassembly: *Segmentación y Reensamble.*

SCR

Sustainable Cell Rate: *Tasa de Celda Sostenible.*

SDH

Synchronous Digital Hierarchy: *Jerarquía Digital Síncrona.*

SDU

Service Data Unit: *Unidad de Datos de Servicio.*

SMDS

Switched Multimegabit Data Service.

SNMP

Simple Network Management Protocol: *Protocolo Simple de Administración de Red.*

SONET

Synchronous Optical NETWORK: *Red Óptica Síncrona.*

SSCF

Service Specific Coordination Function: *Función de Coordinación Específica al Servicio.*

SSCOP

Service Specific Connection Oriented Protocol: *Protocolo Orientado a Conexión Específico al Servicio.*

SSCS

Service Specific Convergence Sublayer: *Subcapa de Convergencia Específica al Servicio.*

SVC

Switched Virtual Circuit: *Circuito Virtual Conmutado.*

T

Time : *Tiempo.*

TC

Transmission Convergence: *Convergencia de Transmisión.*

TCP

Transmission Control Protocol: *Protocolo de Control de Transmisión.*

TDM

Time Division Multiplexing: *Multiplexión por División de Tiempo.*

TMT

Tamaño Máximo de Trama.

UBR

Unspecified Bit Rate: *Tasa de Bit No Especificada.*

UCSD

University of California in San Diego.

UNI

User to Network Interface: *Interfaz de Usuario a Red.*

UPC

Usage Parameter Control: *Control de Parámetro de Uso.*

VBR

Variable Bit Rate: *Tasa de Bit Variable.*

VC

Virtual Channel: *Canal Virtual.*

VCC

Virtual Channel Connection: *Conexión de Canal Virtual.*

VCI

Virtual Channel Identifier: *Identificador de Canal Virtual.*

VP

Virtual Path: *Trayectoria Virtual.*

VPI

Virtual Path Identifier: *Identificador de Trayectoria Virtual.*

WAN

Wide Area Network: *Red de Area Amplia.*