



**Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial**

**CONMUTACIÓN DINÁMICA EN REDES ATM Y SU APLICACIÓN  
EN EMPRESAS DE COMUNICACIÓN EN GUATEMALA**

**Julio Isaac Sosa Vidal**

**Asesorado por Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo**

**Guatemala, julio de 2004**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CONMUTACIÓN DINÁMICA EN REDES ATM Y SU APLICACIÓN  
EN EMPRESAS DE COMUNICACIÓN EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**JULIO ISAAC SOSA VIDAL**

ASESORADO POR ING. ENRIQUE EDMUNDO RUIZ CARBALLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, JULIO DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



### NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

### TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino González
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez García de Loukota
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**CONMUTACIÓN DINÁMICA EN REDES ATM Y SU APLICACIÓN  
EN EMPRESAS DE COMUNICACIÓN EN GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 11 de agosto de 2003.

Julio Isaac Sosa Vidal

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b> .....	VII
<b>GLOSARIO</b> .....	XI
<b>RESUMEN</b> .....	XXI
<b>OBJETIVOS</b> .....	XXIII
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	XXV
<b>1. CONCEPTOS BÁSICOS</b> .....	1
1.1. Nueva generación de red de transporte de banda ancha .....	1
1.1.1. Gestión del ancho de banda .....	1
1.1.2. Soporte del tráfico de radiodifusión ( <i>broadcast</i> ) .....	2
1.1.3. Canales conmutados .....	3
1.1.4. Escalabilidad .....	3
1.1.5. Tecnología universal .....	4
1.2. ATM orígenes y fundamentos .....	4
1.2.1. Modo de referencia ATM .....	10
1.2.2. Clases de servicios .....	11
1.3. Puntos clave de la tecnología ATM .....	13
1.3.1. Estandarización .....	13
1.3.2. Multiplexación basada en celdas .....	14
1.3.3. Orientado a la conexión .....	17
1.3.4. Calidad del servicio (QoS) .....	17
1.3.5. Red inteligente .....	18
1.4. Aplicaciones nativas en ATM .....	18
1.4.1. Radiodifusión ( <i>broadcasting</i> ) de video.....	18
1.4.2. Videoconferencia .....	19
1.4.3. LAN virtual (VLAN) .....	20

<b>2. ESTÁNDARES UTILIZADOS EN ATM</b> .....	21
2.1. Modelo ATM .....	21
2.1.1. Capa física .....	22
2.1.1.1. Subcapa PMD .....	22
2.1.1.2. Subcapa TC .....	22
2.1.2. Capa ATM .....	23
2.1.3. Capa de adaptación de ATM .....	26
2.1.3.1. Subcapa de convergencia .....	28
2.1.3.2. Subcapa de segmentación y reensamblaje .....	28
2.1.3.3. Tipos de servicios .....	29
2.1.3.3.1. AAL-1 .....	29
2.1.3.3.2. AAL-2 .....	31
2.1.3.3.3. AAL-3 .....	32
2.1.3.3.4. AAL-4 .....	33
2.2. Topología de las redes ATM .....	35
2.2.1. Modificación de enlaces .....	36
2.2.2. Aplicaciones sucesivas .....	37
2.2.3. PNNI .....	37
2.3. Transporte de servicios tradicionales .....	39
2.3.1. Emulación de circuito .....	39
2.3.2. Retransmisión de tramas ( <i>frame relay</i> ) .....	40
2.3.3. Conmutación de voz .....	41
2.4. Tipo de servicio y velocidades en ATM .....	42
<b>3. ESTRATEGIAS PARA LA RECUPERACIÓN DE TRAYECTORIAS</b> .....	45
3.1. Introducción .....	45
3.2. Métodos de recuperación de trayectorias lógicas .....	45
3.2.1. Enrutar en forma automática alterna .....	45
3.2.2. PVCs flexibles .....	50

3.2.3.	Acompañamiento de VP para trayectorias VCC .....	52
3.2.4.	Acompañamiento de VP para SPVCs .....	55
<b>4.</b>	<b>CONMUTACIÓN ESTÁTICA .....</b>	<b>57</b>
4.1.	Enrutar .....	57
4.1.1.	Selección del enrutamiento .....	58
4.1.2.	Enrutamiento para un suscriptor local .....	60
4.2.	Enrutamiento estático .....	62
4.2.1.	Terminología en el enrutamiento estático .....	62
4.2.2.	Configuración de enrutamiento estático .....	64
4.2.3.	Conmutación para un destino remoto .....	66
4.3.	Manipulación de las fallas .....	68
4.3.1.	Detención de un lazo cerrado .....	72
<b>5.</b>	<b>CONMUTACIÓN DINÁMICA EN REDES ATM .....</b>	<b>75</b>
5.1.	Terminología PNNI .....	76
5.2.	Tarjetas de enrutamiento PNNI .....	76
5.3.	Protocolo de enrutamiento PNNI .....	79
5.4.	Canal de control de enrutamiento PNNI .....	81
5.4.1.	Enlace enrutable PNNI .....	82
5.4.2.	Administración del costo .....	82
5.4.3.	Descriptores de tráfico del enlace PNNI .....	82
5.5.	Parámetros de los nodos PNNI .....	83
5.5.1.	Prefijo de dirección ATM para nodo PNNI .....	83
5.5.2.	Dirección ATM para nodo PNNI .....	84
5.5.3.	Nivel del nodo PNNI .....	85
5.5.4.	Identificador de grupos pares PNNI .....	85
5.5.5.	Identificador de nodo PNNI .....	86
5.5.6.	Configuración de las direcciones en nodos PNNI .....	87

5.6.	Sumario de direcciones PNNI .....	87
5.7.	Direcciones exteriores alcanzables PNNI .....	90
5.8.	Establecimiento de una llamada PNNI .....	92
5.8.1.	Selección de la trayectoria y DTLs .....	92
5.8.2.	Enrutando una llamada establecida .....	93
5.8.2.1.	Nodo origen DTL .....	94
5.8.2.2.	Nodo de tránsito DTL .....	94
5.8.2.3.	Nodo terminal DTL .....	95
5.9.	Manipulación regresiva PNNI y trayectorias alternas .....	95
5.9.1.	Provocación de la manipulación regresiva PNNI .....	97
<b>6.</b>	<b>CONMUTACIÓN DINÁMICA EN GUATEMALA .....</b>	<b>99</b>
6.1.	Redes de comunicación existentes .....	99
6.1.1.	Topología de las redes .....	100
6.2.	Selección del servicio de conmutación dinámica .....	101
6.3.	Coexistencia de enrutamiento estático y PNNI .....	102
6.4.	Incorporación de conmutadores en redes ATM .....	102
6.4.1.	Comparación y configuración de los conmutadores ATM .....	103
<b>7.</b>	<b>CRITERIOS DE DISEÑO .....</b>	<b>107</b>
7.1.	Análisis de la red existente .....	107
7.2.	Planeación del direccionamiento .....	107
7.2.1.	Diseño de la estructura de direcciones para conmutadores y suscriptores .....	109
7.2.1.1.	Tipos de campos de dirección .....	109
7.2.1.2.	Longitud del campo de la dirección .....	111
7.3.	Planeando la topología inicial y futura .....	112
7.3.1.	Planeando el nivel inicial simple de la topología PNNI .....	112

7.3.2. Planeación del crecimiento futuro usando jerarquía de enrutamiento .....	114
7.3.3. Vista de los niveles superiores .....	117
7.4. Diseño de la red ATM con conmutación dinámica .....	119
<b>CONCLUSIONES</b> .....	125
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	127
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	129



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1	Gestión dinámica del ancho de banda	2
2	Funcionamiento de un nodo ATM	6
3	Celda ATM	7
4	Cabecera de la celda ATM	8
5	Identificador de conexión virtual (VCI)	9
6	Tablas de encaminamiento	10
7	Modelo de referencia ATM	11
8	Servicios proporcionados por ATM	12
9	Puntos de acceso al servicio (SAPs)	13
10	Formato básico y la jerarquía de ATM	15
11	Proceso de conmutación	16
12	Circuitos en aplicaciones de radiodifusión ( <i>broadcasting</i> ) de video	19
13	ATM permite la creación de redes virtuales para el tráfico LAN	20
14	Protocolo de modelo ATM de banda ancha	21
15	Protocolos externos a ATM	23
16	Formatos UNI y NNI	24
17	Servicios en modo paquete	26
18	Proceso de las capas CS y SAR	29
19	Formato del segmento CBR	30
20	Formato del segmento VBR	31
21	Formato del segmento con conexión	32
22	Formato del segmento sin conexión	33

23	Servicios sin conexión ATM	34
24	ATM no tiene topología asociada	35
25	Libertad de actuación frente a cambios de enlace	36
26	Crecimiento ordenado en capas	37
27	PNNI permite organizar las redes en áreas	38
28	Emulación de circuito	39
29	Integración de retransmisión de cuadros ( <i>frame relay</i> – ATM)	40
30	Conmutación de voz sobre ATM	41
31	Ejemplo de AAR	46
32	Ejemplo de SPVC	51
33	Mayor beneficio en el núcleo de la red	53
34	Beneficio insignificante en los extremos de la red	54
35	Acompañamiento de VP para SPVCs	56
36	Tabla de enrutamiento	57
37	Ejemplo de enrutar SVC	63
38	Manipulación regresiva salto por salto	72
39	Enrutamiento dinámico PNNI	75
40	Tarjeta de enrutamiento PNNI	77
41	1+1 Redundancia caliente sobre las tarjetas de enrutamiento PNNI	78
42	Enrutamiento PNNI con tarjeta de control integrado	79
43	Grupo troncal con enlace de señalización y canal de control de enrutamiento	81
44	Prefijo de dirección ATM para nodo PNNI	84
45	Dirección ATM para nodo PNNI	84
46	Identificador de grupos pares PNNI	85
47	Identificador del nodo PNNI	86
48	Interconexión de grupos pares con AINI y el uso de direcciones exteriores alcanzables PNNI	91
49	Ejemplo de manipulación regresiva PNNI	96

50	Jerarquía PNNI	116
51	Selección de grupos pares	117
52	Topología de los niveles altos de los grupos pares con 4 grupos lógicos de nodos	118
53	Topología de los niveles altos de los grupos pares con 5 grupos lógicos de nodos	119
54	Topología inicial de nivel simple	122
55	Topología PNNI nivel 2	123

## **TABLAS**

I	Tabla para enrutar	59
II	Distribución de nodos	119
III	Estructura de dirección	120
IV	Definición de los campos de dirección y asignación de valores	121



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
Mbps	Megabits por segundo
Kbps	Kilobits por segundo



## GLOSARIO

<b>AAL</b>	<i>ATM Adaptation Layer.</i> Capa de adaptación ATM que provee las funciones orientadas al usuario no comprendidas en la capa ATM, así también permite a la capa ATM transportar diferentes protocolos y servicios de capas superiores.
<b>AESA</b>	<i>ATM Endsystem Address.</i> Esquema de direccionamiento ATM que usa tres NSAP en los formatos de direccionamiento basados en ISO 8348. Un esquema de direccionamiento ATM, permite direccionamiento E.164, DCC y ICD.
<b>Ancho de banda</b>	Es una medida del monto de datos por segundo que puede ser soportado por una conexión de red.
<b>ATM</b>	<i>Asynchronous Transfer Mode.</i> Tecnología de transmisión conmutada, la cual emplea células de 53 byte de tamaño como unidad básica de transferencia.
<b>Broadcasting</b>	Significa radiodifusión, aplicándolo a Internet obtenemos como resultado la radiodifusión en Internet.
<b>Buffer</b>	Área de almacenaje temporal, por lo general en la RAM.

<b>CAC</b>	<i>Conexión Admisión Control.</i> Función que evalúa si la admisión de una nueva conexión mantiene la calidad del servicio ( <i>quality-of-service</i> ) para todas las conexiones de esa clase de tráfico, rechazando las conexiones si una congestión es anticipada.
<b>Centralita</b>	Central telefónica.
<b>Cisco</b>	Empresa fabricante de equipo de telecomunicaciones, para obtener mayor información visitar la página <a href="http://www.cisco.com">www.cisco.com</a> .
<b>Cliente</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sistema de computadora o un programa de computadora que recibe de otra computadora (llamada servidor), los resultados de la manipulación de la información, de un servicio como espacio en disco o acceso a la red, etc.</li> <li>2. Programa que se conecta a un servidor y le solicita algo.</li> </ol>
<b>Computadora de red</b>	Es una computadora básica (y por lo tanto barata), que es diseñada para confiar a un servidor el almacenamiento de toda la información que necesita.
<b>Comunicación asíncrona</b>	Método de comunicación en donde los mensajes son enviados y recibidos en cualquier momento.
<b>Comunicación sincrónica</b>	Es la comunicación que toma lugar simultáneamente.

<b>DNS</b>	<i>Domain Name System.</i> Es un sistema para búsqueda de nombres de computadoras con el objeto de obtener su dirección IP. Cada computadora en el sistema es conocida como un servidor de nombres de dominio y mantiene una lista de las computadoras locales y de sus correspondientes direcciones IP. Maneja su propio protocolo de comunicación.
<b>Dominio</b>	Parte de una dirección de Internet. El dominio usualmente especifica la organización a la cual pertenece la computadora y el país en el que está ubicada.
<b>E.164</b>	Plan de numeración telefónico usado como una dirección ATM para identificar un punto en la red de enlace. Puede estar formado por cualquier dirección natural ( <i>native</i> ), o encapsulado dentro de una dirección de un sistema terminal ATM.
<b>ESI</b>	<i>End System Identifier.</i> Componente direccional de un sistema terminal ATM, el cual puede ser un identificador único global de un sistema terminal y puede ser asignado estáticamente o configurado dinámicamente por medio de un mecanismo de registro de dirección ILMI con el suscriptor terminal.
<b><i>Frame relay</i></b>	Constituye un método de comunicación orientado a paquetes para la conexión de sistemas informáticos. Se utiliza principalmente para la interconexión de redes de área local (LANs, <i>local area networks</i> ) y redes de área extensa (WANs, <i>wide are networks</i> ) sobre redes públicas o privadas.

<b>ICD</b>	<i>International Code Designator.</i> Formato AESA el cual identifica un organización internacional de gran relevancia la cual tiene asignada la dirección.
<b>IISP</b>	<i>Interim Inter-switch Signalling Protocol.</i> Protocolo de señalización basado en la especificación UNI 3.1 del ATM <i>forum</i> , el cual permite para algunos niveles base, tener capacidad para la interfase NNI mientras las especificaciones del protocolo de fase 1 PNNI están siendo finalizadas.
<b>ILMI</b>	<i>Integrated Local Management Interface.</i> Protocolo usado para la configuración y control de los parámetros locales más significantes para cada enlace físico ATM.
<b>Enlace interno (<i>Inside link</i>)</b>	Canal de control de enrutamiento que existe entre nodos en el mismo grupo par, usado para cambiar información de enrutamiento.
<b>Interfaz</b>	Unión a lo largo de la cual dos sistemas se comunican. Puede ser un dispositivo de hardware o software.
<b>Internet</b>	La más grande red mundial existente actualmente. Es un sistema global de computadoras interconectadas por diferentes medios, pero utilizando un mismo protocolo de comunicación.
<b>ISDN</b>	<i>Integrated Service Digital Network.</i> Un tipo de línea telefónica diseñada para manejar información digital (el formato que las computadoras usan para almacenar y transmitir datos). Puede transmitir datos entre computadoras mucho más rápido que una línea de teléfono ordinaria.

<b>ISP</b>	<i>Internet Service Provider.</i> Usualmente es una compañía comercial que provee a los usuarios de un punto de presencia al cual se pueden conectar utilizando un módem. Luego el usuario tiene acceso a Internet a través de este sistema.
<b>LAN</b>	<i>Local Area Network.</i> Red de computadoras que es utilizada en un área geográfica pequeña (usualmente menor a 1 kilómetro). Utiliza el protocolo Ethernet para la comunicación entre computadoras y es considerablemente más rápida que una red de tipo WAN.
<b>Lazo cerrado (Loopback)</b>	Es un método de prueba que se utiliza para revisar enlaces. Hace que los paquetes enviados en una dirección regresen al equipo que los genera. También son interfaces virtuales en los <i>routers</i> .
<b>MSN</b>	<i>Multiple Subscriber Number.</i> Es una dirección o prefijo direccional que representa múltiples suscriptores.
<b>NNI</b>	<i>Network Node Interface.</i> Interfase entre dos nodos en una red ATM.
<b>NSAP</b>	<i>Network Service Access Point.</i> Formato direccional OSI el cual a sido adoptado por el ATM <i>forum</i> para representar el enlace de un punto de una red privada y también para referirse a un AESA.

<b>Enlace externo</b> <i>(Outside link)</i>	Canal de control de enrutamiento que existe entre nodos en diferentes grupos pares, usado para establecer la topología jerárquica PNNI.
<b>PNNI</b>	<i>Private Network Node Interface.</i> Interfase privada para redes ATM que permite la configuración automática, enrutamiento optimizado, asignación de ancho de banda y escalabilidad jerárquica.
<b>Protocolo</b>	Una serie de reglas. Los protocolos gobiernan la manera en que la información es transmitida, de manera que las personas que desarrollan programas puedan usar el protocolo para decidir como almacenar, recibir o transmitir información.
<b>PVC</b>	<i>Permanent Virtual Connection.</i> Tipo de conexión permanente entre el nodo origen y el nodo destino, establecida mediante el uso de un protocolo de señalización.
<b>PVCC</b>	<i>Permanent Virtual Channel Connection.</i> Es un nivel de VC para un PVC.
<b>PVPC</b>	<i>Permanent Virtual Path Connection.</i> Nivel de VP para PVC.
<b>QoS</b>	<i>Quality of Service.</i> Caso particular de un determinado grupo de parámetros genéricos que son usados para describir las características del tráfico intrínseco de una conexión ATM.
<b>RCC</b>	<i>Routing Control Channel.</i> VCC usado por los nodos PNNI para comunicarse con los otros nodos.

<b><i>Router</i></b>	Es un dispositivo de capa tres que hace el direccionamiento de los paquetes a su destino por medio de rutas o caminos predeterminados.
<b>Servidor</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Es una computadora cuyo objetivo es permitir a otras computadoras conectarse a ella y acceder a la información y recursos dentro de la misma.</li> <li>2. Un programa que se mantiene en ejecución en una computadora que actúa como un servidor, y cuya función es recibir y procesar las peticiones de otras computadoras y que luego devuelve cierta información.</li> </ol>
<b>Servidor de nombres de dominio</b>	Computadora en una organización la cual es responsable de la administración de los nombres y direcciones IP de las computadoras locales.
<b>Sitio</b>	Es otro nombre que se le da a un servidor.
<b><i>Router</i></b>	Es un dispositivo de capa tres que hace el direccionamiento de los paquetes a su destino por medio de rutas o caminos predeterminados.
<b>Subred</b>	El equivalente en redes a un camino privado. Una subred consiste en computadoras conectadas en una red privada, en la cual se minimiza la cantidad de tráfico que atraviesa el medio de transmisión (el cable de red).

<b>SLA</b>	<i>Service Level Agreement.</i> Acuerdo entre el proveedor de servicio de la red y el usuario final respecto a la garantía en el servicio provisto.
<b>SSN</b>	<i>Single Subscriber Number.</i> Es una dirección que representa un suscriptor simple.
<b>SVC</b>	<i>Switched Virtual Connection.</i> Tipo de conexión virtual entre el nodo origen y el nodo destino, establecida mediante el uso de un protocolo de señalización.
<b>Token</b>	Una pequeña celda que circula por una red en anillo. Sirve para moderar el tráfico, la máquina que posea el token puede transmitir datos a otra terminal en el anillo.
<b>UNI</b>	<i>User Network Interface.</i> Interfase entre el usuario y la red para la transferencia simultanea de voz, video y datos.
<b>VC</b>	<i>Virtual Channel.</i> Canal de comunicación destinado para el transporte secuencial unidireccional de células ATM.
<b>VCC</b>	<i>Virtual Channel Connection.</i> Conexión final entre dos nodos, conformada por un conjunto de pares VPI/VCI.
<b>VCI</b>	<i>Virtual Channel Identifier.</i> Identificador usado por la interfase UNI, formado por un campo de 16 bits. El valor del VCI tiene solamente significado local y el mismo identifica al VC activo en el puerto local el cual comprende la conexión final.

<b>Vínculo</b>	Una forma de colocar una referencia desde algún punto en un documento de hipertexto, a un punto en otro documento o en diferente lugar del mismo documento.
<b>VP</b>	<i>Virtual Path.</i> Conexión lógica punto a punto, desde un nodo fuente A hacia un nodo destino B. Un VP puede soportar uno o más VC.
<b>VPC</b>	<i>Virtual Path Connection.</i> Conexión de trayectoria virtual en donde la conmutación está basada únicamente en el valor virtual del VPI, en la cabecera de la célula ATM.
<b>VPCI</b>	<i>Virtual Path Connection Identifier.</i> Identificador usado en los mensajes de señalización para identificar a cual VPI se refiere la conexión. Una función de mapeo puede ser requerida entre el VPCI y el VPI para permitir un simple enlace de señalización para el control de las trayectorias virtuales a través de los diferentes puertos.
<b>VPI</b>	<i>Virtual Path Identifier.</i> Identificador usado por la interfase UNI, formado por un campo de 8 bits, destinado a identificar una trayectoria ATM y transportar el encabezado de la célula ATM. Igualmente que los VCI éste tiene significado local e indica el VP activado en la UNI local.
<b>WAN</b>	<i>Wide Area Network.</i> Es una red de computadoras que está distribuida a lo largo de una amplia área geográfica.

**Web o WWW**

*World Wide Web.* Es una colección de herramientas, usualmente basadas en Internet, que permiten transportar material de tipo HTML. Los navegadores son utilizados para acceder a la información disponible en la WWW.

## RESUMEN

ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) es una tecnología que transmite simultáneamente tráfico de datos, voz y video sobre circuitos de alto ancho de banda. Esta tecnología está basada en la conmutación y transmisión de células (*cells*). La conmutación puede darse de dos maneras dinámica y estática. En la conmutación dinámica es posible tener una red de gran confiabilidad, debido a la inteligencia que la red posee, haciendo posible que el enlace entre el destino fuente y el destino final se mantengan siempre activo y no pierda información que por el mismo se está manipulando.

La base del comportamiento dinámico de la red es el protocolo PNNI (*Protocol Network Node Interface*). La idea del protocolo PNNI, es hacer que los conmutadores ATM, puedan establecer relaciones entre sí, para proceder al intercambio de información topológica entre ellos. Así, al ingresar un conmutador a una red ATM, el protocolo PNNI le permite descubrir la topología de la red y a la vez ser descubierto por parte de la red. El PNNI puede ser usado como protocolo de señalización o como protocolo de enrutamiento. El protocolo de enrutamiento es usado para distribuir la información acerca de los cambios en la topología de la red. La información se obtienen de las tablas de enrutamiento para SVC. La ejecución de las aplicaciones del protocolo de enrutamiento PNNI, se lleva a cabo a través de las tarjetas de enrutamiento PNNI. Para el cambio solamente de la información de enrutamiento se usa un canal de control de enrutamiento. El canal de control de enrutamiento recomendado por el ATM *forum* es el VCI 18, sin embargo puede ser modificado si fuese necesario junto con los parámetros de tráfico predeterminados.



## **OBJETIVOS**

### **Generales**

1. Demostrar la factibilidad técnica de la implementación de la conmutación dinámica en redes ATM, mediante criterios óptimos para el diseño de una red redundante.
2. Explicar ampliamente la estructura de la conmutación dinámica en redes ATM.

### **Específicos**

1. Dar al lector conocimientos básicos de redes ATM y el funcionamiento de la conmutación dinámica.
2. Explicar la estructura de todas las capas del modelo de ATM.
3. Hacer el diseño de una red ATM para usar, de ser necesario, los recursos tecnológicos con los que se cuenta en Guatemala.
4. Dar a conocer la técnica que utilizan los conmutadores para un enrutamiento dinámico en una red ATM.
5. Hacer un análisis del diseño de la red.



## INTRODUCCIÓN

Actualmente el mercado de las telecomunicaciones ha generado una gran competencia entre las empresas que prestan estos servicios en Guatemala. Los usuarios buscan la necesidad de tener un acceso fácil y rápido, ya que se cansan de esperar los datos y las pantallas de llegada a sus terminales. Estas necesidades cuadran de maravilla para los proveedores de servicios públicos de salud, con requerimientos de videoconferencias médicas, redes financieras interconectadas con los entes de intermediación y validación entre otras.

ATM es una tecnología que junto con el protocolo interno PNNI vienen a resolver algunos de estos problemas. Se empezará con una explicación de los conceptos básicos necesarios para comprender la tecnología ATM, así como también, las diferentes estrategias que existen para la recuperación de trayectorias en redes ATM.

Posteriormente se introducirá los dos tipos de conmutación existentes para la transmisión de voz, datos y video. Se hará énfasis en la conmutación dinámica de redes ATM, especialmente en el protocolo que brinda el carácter dinámico a dichas redes. Se describirán los parámetros correspondientes a los nodos PNNI y también los pasos a seguir para el establecimiento de una llamada PNNI. Por último con base en dichos conceptos estudiados se podrá demostrar la factibilidad técnica de la implementación de la conmutación dinámica en redes ATM.



# **1. CONCEPTOS BÁSICOS**

## **1.1. Nueva generación de red de transporte de banda ancha**

Fueron diversos los motivos que forzaron una revolución tecnológica en el área del transporte digital de banda ancha. Entre ellos, la aparición de nuevas aplicaciones, la necesidad de incorporar el tráfico de LAN directamente en la red de transporte digital, las previsiones de crecimiento desmesurado, la necesidad de consolidar todos los tipos de tráfico, entre otros.

### **1.1.1. Gestión del ancho de banda**

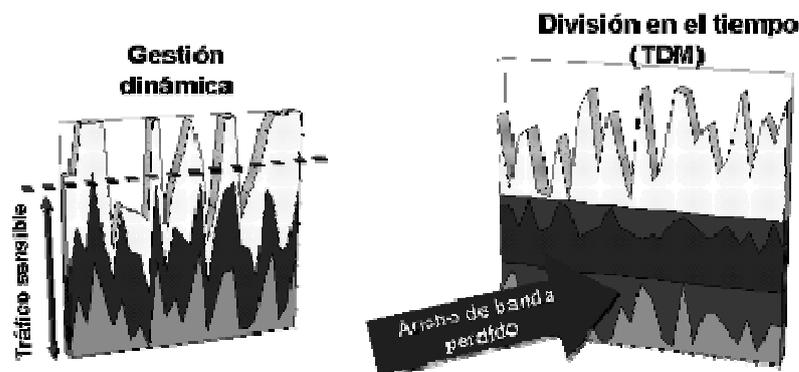
La técnica de división en el tiempo que usan las redes de transporte digital tradicionales (por ejemplo redes basadas en multiplexores PDH, SDH) no es válida para el transporte del tráfico LAN, que es uno de los tipos de datos que más ha crecido en los últimos años y que más insistentemente pide un lugar en las redes de banda ancha.

ATM, como nueva tecnología de transporte digital de banda ancha, dispone de mecanismos de control dinámico del ancho de banda. De este modo, cuando una fuente de datos deja de emitir, el ancho de banda que resulta liberado del canal de comunicación se reasigna a otra fuente.

El tráfico de datos se caracteriza por una necesidad muy grande de ancho de banda pero en momentos muy puntuales, el uso de técnicas TDM para la multiplexación del tráfico de LAN sobre los troncales de comunicaciones lleva a un compromiso demasiado duro.

Por un lado, si se le asigna una ranura de tiempo (*time-slot*) de poco ancho de banda, el rendimiento de las comunicaciones no será aceptable. Por otro lado, si se le asigna una ranura de tiempo (*time-slot*) de gran ancho de banda, se malgastará demasiado espacio del canal cuando no se efectúen transferencias, gráficamente se puede observar en la figura 1.

**Figura 1. Gestión dinámica del ancho de banda**



Fuente: <http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm.htm>

### 1.1.2. Soporte del tráfico de radiodifusión (*broadcast*)

Antes de ATM, las tecnologías de transporte digital se basaban en la multiplexación sobre canales punto a punto y, por lo tanto, no podían enfrentarse a este nuevo requerimiento de servicio. Aplicaciones como videoconferencias, tráfico LAN, radiodifusión (*broadcasting*) de vídeo, etcétera, requieren de soporte de radiodifusión (*broadcast*) en la capa de transporte. ATM, aunque es una tecnología orientada a la conexión, contempla el uso de circuitos punto-multipunto que permiten ofrecer funciones de radiodifusión (*broadcasting*) de información. Los datos se replican en el interior de la red allí donde se divide el circuito punto-multipunto.

Esta aproximación minimiza el ancho de banda asociado a tráfico de radiodifusión (*broadcast*) y permite la extensión y crecimiento de estos servicios hasta niveles muy elevados.

### **1.1.3. Canales conmutados**

Otro requerimiento que se le pidió a ATM fue que dispusiera de mecanismos para el establecimiento de circuitos conmutados bajo demanda del DTE. ATM define un protocolo de señalización entre el DTE y la red, llamado UNI, que permite a este segundo, la negociación de canales conmutados bajo demanda. El protocolo, basado en el Q.931 de RDSI, permite al DTE la creación de un canal (punto a punto o multipunto) con una determinada calidad de servicio.

Otro protocolo (NNI) se encarga de la propagación de la petición de llamada dentro del interior de la red hacia el destino para su aceptación. El NNI es un protocolo no orientado a la conexión, que permite la propagación de llamadas por múltiples caminos alternativos.

### **1.1.4. Escalabilidad**

Uno de los principales problemas con los que se encuentran los administradores de las redes de transporte es cómo actuar frente a los continuos y cada vez más frecuentes cambios en los requerimientos tanto de cobertura como de ancho de banda.

ATM se diseñó como una red inteligente. El objetivo era que los nodos que componían la red fueran capaces de descubrir la topología que les rodeaba y crearse una imagen propia de cómo estaba formada la red. Además, este procedimiento debía ser dinámico para que la inserción de nuevos nodos o enlaces en la red fueran detectados y asimilados automáticamente por los otros nodos.

Los administradores de la red de transporte ATM pueden decidir libremente el cambio de ancho de banda de un enlace o la creación de uno nuevo sin tener que, por ello, reconfigurar de nuevo la red. Todo los nodos afectados por la modificación topológica actuarán inmediatamente como respuesta al cambio. Los problemas de cobertura tampoco significan ningún problema. Un nodo que se inserta en la red descubre, y es descubierto, por el resto de nodos sin ninguna intervención por parte del administrador.

#### **1.1.5. Tecnología universal**

Un balance general de los puntos anteriores permite ver como la tecnología de transporte ATM incorpora y mejora muchas de las técnicas utilizadas únicamente, hasta entonces, en las redes de banda estrecha.

ATM se define como una tecnología universal válida tanto como transporte digital de banda ancha, como para redes primarias (*backbone*) de alta velocidad en redes LAN o integración de servicios en redes corporativas sobre enlaces de baja velocidad. ATM es una solución global extremo a extremo; es tanto una tecnología de infraestructura como de aplicaciones.

#### **1.2. ATM orígenes y fundamentos**

ATM fue propuesto inicialmente por la industria de las telecomunicaciones, rápidamente se ha convertido en la tecnología más promovida dentro de las industrias de comunicaciones y computadores. Las recomendaciones iniciales propuestas por el CCITT en 1988 fueron que, ATM y la Red Óptica Síncrona (SONET) formasen la base de la Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha (B-ISDN), un nuevo estándar en desarrollo para la integración en red de: datos, voz, imagen y vídeo, a velocidades de transmisión desde 34 Mbps a varios gigabits por segundo.

Emplea el concepto de conmutación de celdas (*cell switching*), el cual combina los beneficios de la conmutación de paquetes tradicionalmente utilizada en redes de datos, y la conmutación de circuitos utilizada en redes de voz. ATM se basa en el concepto de conmutación rápida de paquetes (*fast packet switching*) en el que se supone una fiabilidad muy alta a la tecnología de transmisión digital, típicamente sobre fibra óptica, y por lo tanto la no necesidad de recuperación de errores en cada nodo.

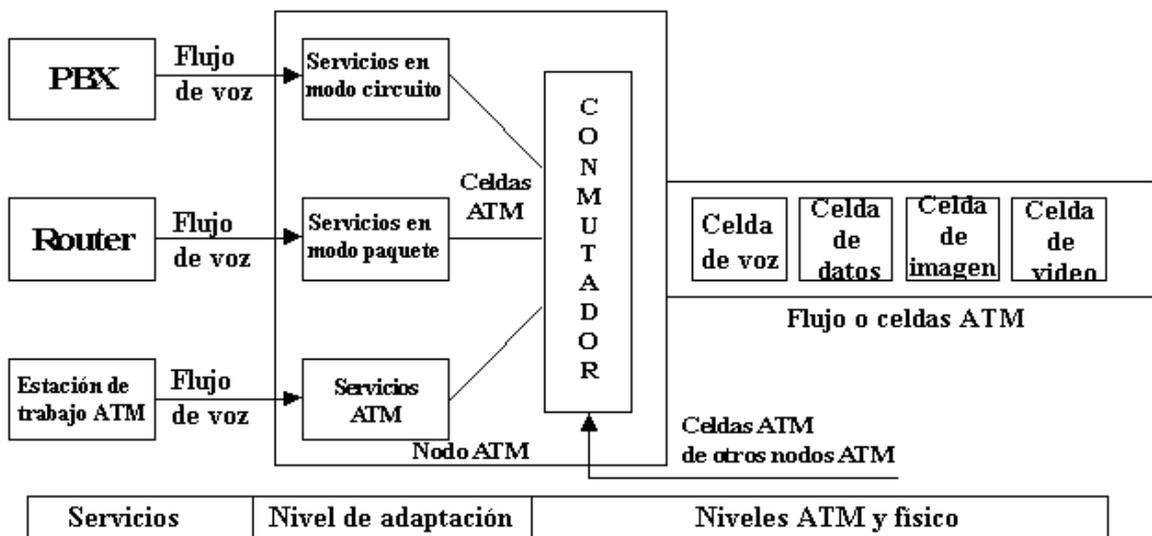
Ya que no hay recuperación de errores, no son necesarios los contadores de número de secuencia de las redes de datos tradicionales, tampoco se utilizan direcciones de red ya que ATM es una tecnología orientada a conexión, en su lugar se utiliza el concepto de identificador de circuito o conexión virtual (VCI).

El tráfico con tasa de bit o velocidad binaria constante (CBR), por ejemplo voz PCM o vídeo no comprimido, tradicionalmente es transmitido y conmutado por redes de conmutación de circuitos o multiplexores por división en el tiempo (TDM), que utilizan el modo de transmisión síncrono (STM). En STM, los multiplexores por división en el tiempo dividen el ancho de banda que conecta dos nodos, en contenedores temporales de tamaño pequeño y fijo o ranuras de tiempo (*time slots*). Cuando se establece una conexión, ésta tiene estadísticamente asignado una o varias ranuras (*slots*). El ancho de banda asociado con esta ranura (*slot*) está reservado para la conexión haya o no transmisión de información útil. Una pequeña cantidad de ancho de banda para control se utiliza para la comunicación entre los conmutadores, de forma que éstos conocen las ranuras (*slots*) que tienen asignadas la conexión. Esto se conoce como direccionamiento implícito. El conmutador receptor sabe a que canales corresponden las ranuras (*slots*) y por lo tanto no se requiere ningún direccionamiento adicional. Este procedimiento garantiza la permanente asignación de un ancho de banda durante el tiempo que dura la llamada, así como un tiempo de latencia pequeño y constante.

En contraste, los datos son normalmente transmitidos en forma de tramas o paquetes de longitud variable, lo que se adecua bien a la naturaleza de ráfagas de este tipo de información. Sin embargo, este mecanismo de transporte tiene retardos impredecibles, la latencia tiende a ser alta y en consecuencia la conmutación de paquetes no es adecuada para tráfico con tasa de bit constante como la voz. Tampoco la conmutación de circuitos se adecua para la transmisión de datos, ya que si se asigna un ancho de banda durante todo el tiempo para un tráfico en ráfagas, se derrocha mucho ancho de banda cuando éste no se utiliza.

ATM ha sido definido para soportar de forma flexible, la conmutación y transmisión de tráfico multimedia comprendiendo datos, voz, imágenes y vídeo. En este sentido, ATM soporta servicios en modo circuito, similar a la conmutación de circuitos, y servicios en modo paquete para datos como se puede ver en la figura 2.

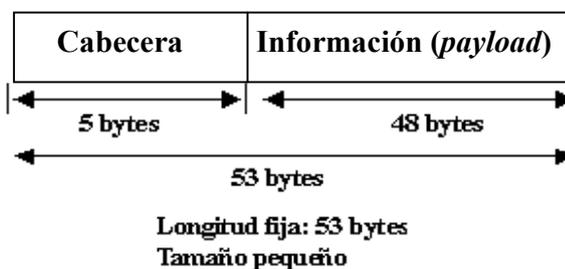
**Figura 2. Funcionamiento de un nodo ATM**



Fuente: [http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm\\_origenes/atm\\_origenes.htm](http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm_origenes/atm_origenes.htm)

Sin embargo, a diferencia de la conmutación de circuitos, ATM no reserva ranuras (*slots*) para la conexión. En su lugar, una conexión obtiene ranuras (*slots*) o celdas, solo cuando está transmitiendo información. Cuando una conexión está en silencio no utiliza ranuras (*slots*) o celdas, estando éstas disponibles para otras conexiones. Con esta idea en mente, se decidió que la unidad de conmutación y transmisión fuese de tamaño fijo y longitud pequeña. Esta unidad es conocida como celda, y tiene una longitud de 53 bytes divididos en 5 de cabecera y 48 de información o carga útil. Las celdas pequeñas y de longitud constante son ventajosas para tráfico con tasa de bit constante y son muy útiles en general ya que permiten un tiempo de latencia muy bajo, constante y predecible, así como una conmutación por *hardware* a velocidades muy elevadas. Esta celda es quien viene a sustituir a las ranuras de tiempo (*time slot*) o contenedor del STM como se muestra en la figura 3.

**Figura 3. Celda ATM**



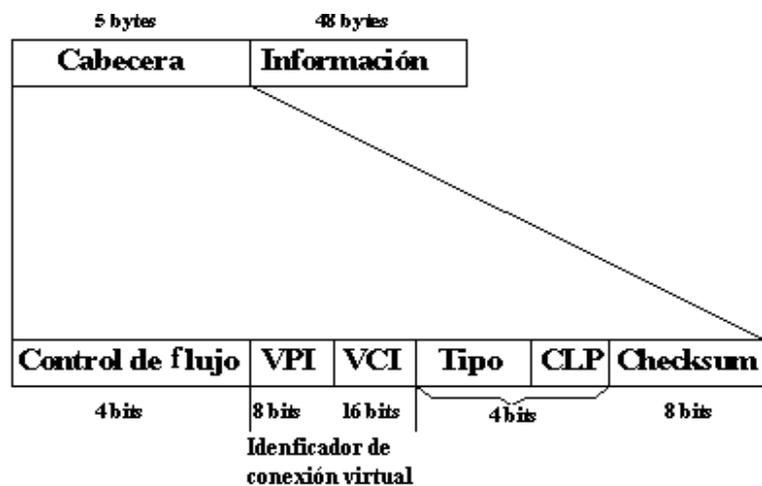
**Fuente:** [http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm\\_origenes/atm\\_origenes.htm](http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm_origenes/atm_origenes.htm)

También, en el caso de pérdida de celdas por congestión o corrupción, la pérdida no es muy grande siendo en muchos casos remediable o recuperable. De hecho, el tráfico de voz y vídeo no es muy sensible a pequeñas pérdidas de información, pero si es muy sensible a retardos variables, sucediéndole lo contrario al tráfico de datos. En una red ATM, donde las celdas no están reservadas sino asignadas bajo demanda, el conmutador receptor no puede determinar por adelantado a que canal corresponde cada celda.

La celda ATM a diferencia de la ranura de tiempo (*time slot*) en STM, debe transportar la identificación de la conexión a la que pertenece, de esta forma no existirán celdas vacías ya que serán utilizadas por conexiones pendientes. Esta es una diferencia fundamental del ATM frente al STM. La cabecera presente en cada celda, consume aproximadamente un 9.5% del ancho de banda, siendo este el precio que hay que pagar por la capacidad para disponer de ancho de banda bajo demanda, en lugar de tenerlo permanentemente reservado y eventualmente desperdiciado.

La adopción de una cabecera de 5 bytes ha sido posible, porque no se realiza recuperación de errores en los nodos intermedios, tampoco se emplean direcciones válidas a nivel de toda la red, tales como la dirección MAC en Ethernet o IP en redes tipo TCP/IP. La figura 4 muestra la cabecera de una celda ATM.

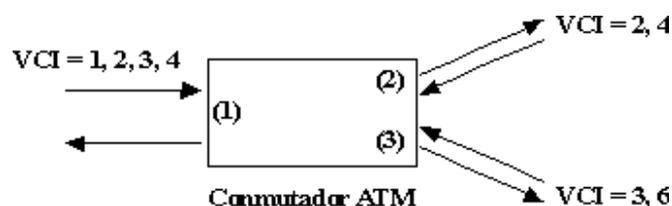
**Figura 4. Cabecera de la celda ATM**



**Fuente:** [http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm\\_origenes/atm\\_origenes.htm](http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm_origenes/atm_origenes.htm)

Al igual que en las redes de conmutación de paquetes, la tecnología ATM está orientada a conexión. Esto significa que antes de que el usuario pueda enviar celdas a la red, es necesario realizar una llamada y que ésta sea aceptada para establecer una conexión virtual a través de la red. Durante la fase de llamada un identificador de conexión virtual (VCI) es asignado a la llamada en cada nodo de intercambio a lo largo de la ruta. El proceso se ilustra en la figura 5.

**Figura 5. Identificador de conexión virtual (VCI)**



**Fuente:** [http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm\\_origenes/atm\\_origenes.htm](http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm_origenes/atm_origenes.htm)

El identificador asignado, sin embargo, sólo tiene significado a nivel del enlace local, y cambia de un enlace al siguiente según las celdas pertenecientes a una conexión pasan a través de cada conmutador ATM. Asociado con cada enlace o puerto entrante del conmutador ATM, hay una tabla de encaminamiento que contiene el enlace o puerto de salida y el nuevo VCI que va a ser utilizado en correspondencia a cada VCI entrante.

De este modo el encaminamiento de celdas en ambas direcciones a lo largo de la ruta es extremadamente rápido, ya que consiste en una simple operación de consulta en una tabla. Como resultado, las celdas procedentes de cada enlace pueden ser conmutadas independientemente a velocidades muy altas. Esto permite el uso de arquitecturas de conmutación paralelas y circuitos de alta velocidad hasta gigabits, cada uno operando a su máxima capacidad.

Las celdas procedentes de diferentes fuentes son multiplexadas juntas de forma estadística a efectos de conmutación y transmisión. Estas tablas se muestran en la figura 6.

**Figura 6. Tablas de encaminamiento**

VCI-in	Enlace 1 R-T		VCI-in	Enlace 2 R-T		VCI-in	Enlace 3 R-T	
↓	Salida	VCI	↓	Salida	VCI	↓	Salida	VCI
1	2	2	·	·	·	·	·	·
2	2	4	2	1	1	3	1	3
3	3	3	·	·	·	·	·	·
4	3	6	4	1	2	6	1	4
·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·

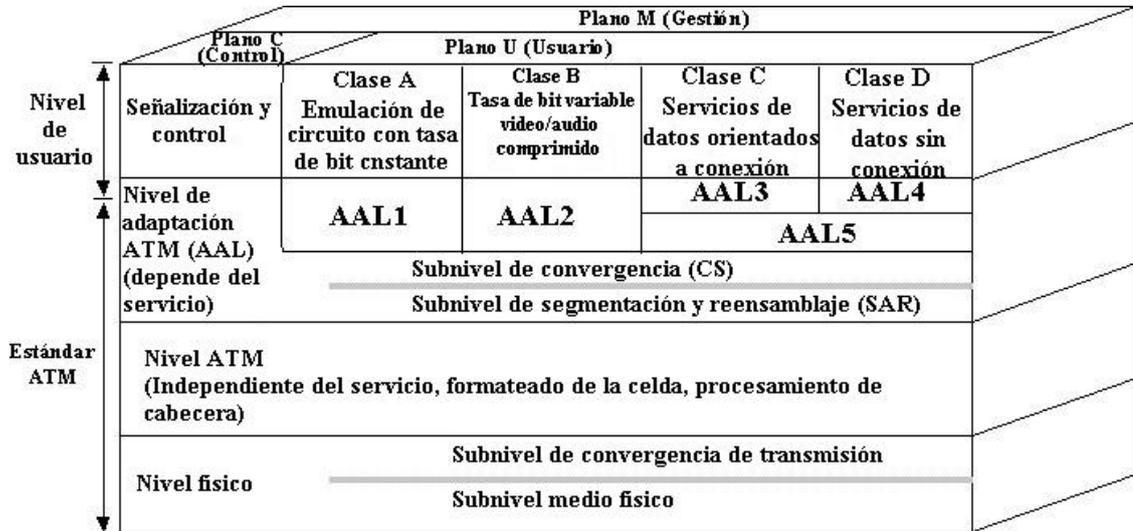
Fuente: [http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm\\_origenes/atm\\_origenes.htm](http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm_origenes/atm_origenes.htm)

### 1.2.1. Modo de referencia ATM

El modelo de referencia propuesto por el CCITT está constituido por tres niveles: nivel físico, nivel ATM y nivel de adaptación ATM (AAL).

Las funciones han sido divididas en tres grupos conocidos como planos: el plano C de control y señalización, el plano U de usuario y el plano M de gestión. Los protocolos del plano C se encargan de la señalización, es decir, del establecimiento, mantenimiento y cancelación de conexiones virtuales. Los protocolos del plano U dependen de la aplicación y en general operan extremo a extremo (usuario a usuario). Los protocolos del plano M se encargan de la operación, administración y mantenimiento (OAM). Los protocolos de los tres planos hacen uso de los servicios ofrecidos por los tres niveles ATM. Esto se puede observar en la figura 7.

**Figura 7. Modelo de referencia ATM**



Fuente: [http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm\\_origenes/atm\\_origenes.htm](http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm_origenes/atm_origenes.htm)

### 1.2.2. Clases de servicios

Los servicios han sido clasificados de acuerdo con tres criterios. El primero de ellos es la existencia de una temporización relacionada entre los usuarios origen y destino. El segundo se vincula a la tasa de bit, o velocidad binaria asociada con la transferencia. Y por último el modo de conexión (con conexión o sin conexión).

Los servicios en clase A y B están orientados a conexión y existe una temporización relacionada entre los usuarios origen y destino. En la figura 8 se puede observar gráficamente estos tres criterios. La diferencia entre las dos clases, es que la clase A proporciona un servicio con tasa de bit constante, mientras que en la clase B la tasa de bit es variable. Un ejemplo de uso de la clase A, es la transferencia de un flujo constante de bits asociada con una llamada de voz, por ejemplo a 64Kbps (Similar a un canal B en ISDN). La clase A es también conocida, como emulación de circuito conmutado.

**Figura 8. Servicios proporcionados por ATM**

<b>Clase A</b>	<b>Clase B</b>	<b>Clase C</b>	<b>Clase D</b>	↑ Clases de servicios ↓ Temporización relacionada ↑ Tasa de bit ↓ Modo
<b>Si</b>		<b>No</b>		
<b>Constante</b>	<b>Variable</b>			
<b>Orientado a conexión</b>		<b>Sin conexión</b>		

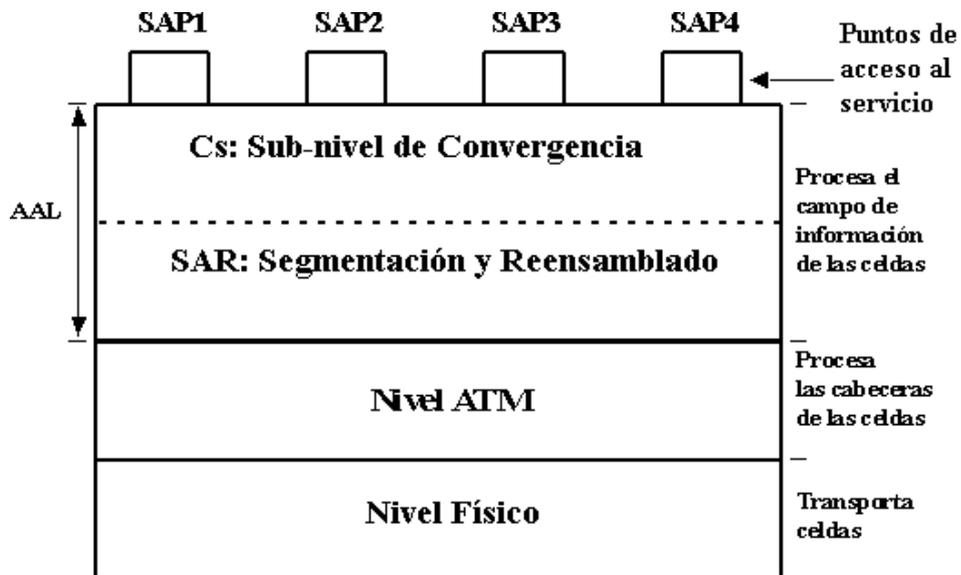
Fuente: [http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm\\_origenes/atm\\_origenes.htm](http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm_origenes/atm_origenes.htm)

Las clases C y D no tienen temporización relacionada entre el origen y el destino. Ambas proporcionan servicios en modo paquete, con velocidad binaria variable entre origen y destino. La clase C está orientada a conexión y la clase D es sin conexión. Para realizar las funciones anteriores, el nivel AAL está dividido en dos subniveles.

- El sub-nivel de convergencia (CS), que realiza las funciones de convergencia entre el servicio ofrecido al usuario y el proporcionado por el nivel ATM.
- El sub-nivel de segmentación y reensamblado (SAR), que realiza las funciones de ensamblado/segmentación de los datos de origen para colocarlos en el campo de información de la celda y la correspondiente función de desensamblado/reensamblado en el destino.

Asociada con cada clase de servicio está un tipo de punto de acceso al servicio (SAP) y un protocolo asociado. Clase A tiene un SAP de tipo 1, clase B de tipo 2 y así sucesivamente, esto se puede observar en la figura 9.

**Figura 9. Puntos de acceso al servicio (SAPs)**



Fuente: [http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm\\_origenes/atm\\_origenes.htm](http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm_origenes/atm_origenes.htm)

### 1.3. Puntos clave de la tecnología ATM

ATM se basa en un conjunto de novedades tecnológicas que hacen posible que cumpla los requerimientos a ella exigidos.

#### 1.3.1. Estandarización

Si bien sus orígenes se remontan a los años 60, es a partir de 1988 cuando el CCITT ratifica a ATM como la tecnología para el desarrollo de las redes de banda ancha (B-RDSI), apareciendo los primeros estándares en 1990.

Desde entonces hasta nuestros días ATM ha estado sometida a un riguroso proceso de estandarización; destinado no solamente a una simple interoperabilidad a nivel físico (velocidades SONET y SDH...), sino a garantizar la creación de redes multifabricantes a nivel de servicio, estandarizándose aspectos como señalización (UNI, NNI), control de congestión, integración LAN, etc. Esta característica garantiza la creación de redes multifabricante, que garantizan la inversión y permiten un fuerte desarrollo del mercado, con la consiguiente reducción de costes.

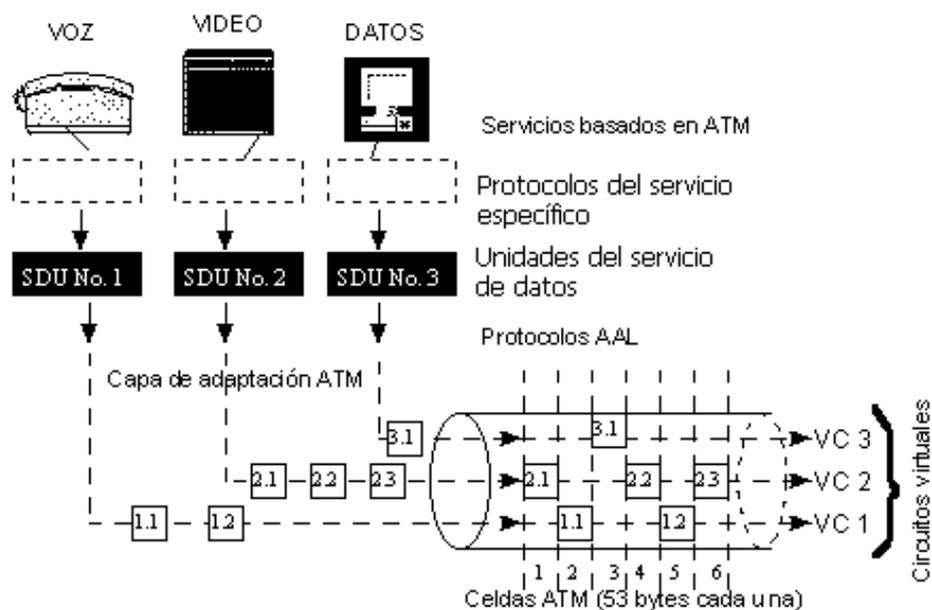
### **1.3.2. Multiplexación basada en celdas**

Para que se pueda gestionar correctamente el ancho de banda sobre un enlace, es necesario que las diferentes fuentes que lo utilizan presenten sus datos en unidades mínimas de información. Para ATM se decidió una unidad mínima de 53 bytes fijos de tamaño. El uso de un tamaño fijo permite desarrollar módulos *hardware* muy especializados que conmuten estas celdas a las velocidades exigidas en la banda ancha (actuales y futuras). La longitud de la unidad debe ser pequeña para que se pueden multiplexar rápidamente sobre un mismo enlace celdas de diferentes fuentes y así garantizar calidad de servicio a los tráficos sensibles.

Un examen más cercano del protocolo ATM y cómo opera ayudará a explicar cómo los circuitos virtuales, las rutas virtuales, los conmutadores y los servicios que ellos acarrear se afectan entre sí. La figura 10 muestra un formato básico y la jerarquía de ATM. Una conexión ATM, consiste de celdas de información contenidos en un circuito virtual (VC). Estas celdas provienen de diferentes fuentes representadas como generadores de bits a tasas de transferencia constantes como la voz y a tasas variables tipo ráfagas (*bursty traffic*) como los datos. Cada celda compuesta por 53 bytes, de los cuales 48 (opcionalmente 44) son para trasiego de información y los restantes para uso de campos de control (cabecera) con información de quién soy y donde voy.

Esta información es reconocida por un identificador de circuito virtual (*virtual circuit identifier*) VCI y un identificador de trayectoria virtual (*virtual path identifier*) VPI dentro de esos campos de control.

**Figura 10. Formato básico y jerarquía de ATM**

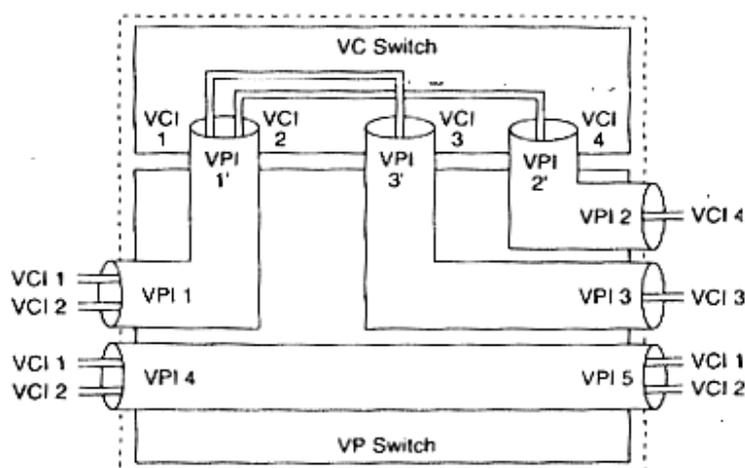


Fuente: [http://www.merino.serana.net/Spanish/atm\\_indice.html](http://www.merino.serana.net/Spanish/atm_indice.html)

La organización de la cabecera (*header*) variará levemente dependiendo de la información relacionada es para interfaces de red a red o de usuario a red. Las celdas son encaminadas individualmente a través de los conmutadores basados en estos identificadores, los cuales tienen significado local, ya que pueden ser cambiados de interfase a interfase. La técnica ATM multiplexa muchas celdas de circuitos virtuales en una ruta (*path*) virtual colocándolas en particiones (*slots*), similar a la técnica TDM.

Sin embargo, ATM llena cada partición (*slot*) con celdas de un circuito virtual a la primera oportunidad, similar a la operación de una red conmutada de paquetes. Las particiones (*slots*) de celda no usados son llenados con celdas desocupadas (*idle*), identificadas por un patrón específico en la cabecera de la celda. Este sistema no es igual al llamado *bit* de relleno (*stuffing*) en la multiplexación asíncrona, ya que aplica a celdas enteras. La figura 11 describe los procesos de conmutación implícitos de los conmutadores VC y de los conmutadores VP.

**Figura 11. Proceso de conmutación**



Fuente: [http://www.merino.serana.net/Spanish/atm\\_indice.html](http://www.merino.serana.net/Spanish/atm_indice.html)

La tecnología ATM ha sido definida tanto por el ANSI como por el CCITT a través de sus respectivos comités ANSI T1, UIT SG XVIII, como la tecnología de transporte para la red digital de servicios integrados de banda ancha B-ISDN (*Broad Band Integrated Services Digital Network*), la RDSI de banda ancha. En este contexto transporte se refiere al uso de técnicas de conmutación y multiplexación en la capa de enlace (capa 2 del modelo OSI) para el trasiego del tráfico del usuario final de la fuente al destino, dentro de una red.

### **1.3.3. Orientado a la conexión**

Que ATM fuera una tecnología orientada a la conexión permitía, entre otras cosas, conseguir una unidad mínima de información de tamaño pequeño. Como se ha dicho anteriormente, las previsiones de crecimiento para ATM obligaban al uso de un sistema de numeración de terminales de 20 bytes. Las tecnologías no orientadas a la conexión requieren que cada unidad de información contenga en su interior las direcciones tanto de origen como de destino. Obviamente, no se podían dedicar 40 bytes de la celda para ese objetivo (la sobrecarga por cabecera sería inaceptable). Los únicos datos de direccionamiento que se incluye en la celda es la identificación del canal virtual que supone, únicamente, 5 bytes de cabecera (48 bytes para la transmisión de información).

### **1.3.4. Calidad de servicio (QoS)**

Se definen cuatro categorías de tráfico básicas: tasa de bit constante CBR (*Constant Bit Rate*), tasa de bit variable VBR (*Variable Bit Rate*), tasa de bit indefinida UBR (*Undefined Bit Rate*) y tasa de bit disponible ABR (*Available Bit Rate*). En el momento de la creación, el DTE caracteriza el tráfico que va a enviar por el circuito mediante cuatro parámetros (PCR, SCR, CDVT y MBS) dentro de una de esas cuatro categorías. La red propaga esa petición internamente hasta su destino y valida si los requerimientos exigidos se van a poder cumplir. En caso afirmativo, la red acepta el circuito y, a partir de ese momento, garantiza que el tráfico se va a tratar acorde a las condiciones negociadas en el establecimiento.

Los conmutadores ATM ejecutan un algoritmo que garantiza, celda por celda, que se está ofreciendo la calidad de servicio requerida. En ese caso el conmutador ATM puede proceder al descarte de las celdas correspondientes en caso de saturación en algún punto de la red.

### **1.3.5. Red inteligente**

Una red de transporte ATM es una red inteligente en la que cada nodo que la compone es un elemento independiente. Como se ha comentado anteriormente, los conmutadores que forman la red ATM descubren individualmente la topología de red de su entorno mediante un protocolo de diálogo entre nodos.

Este tipo de aproximación, novedoso en las redes de banda ancha, abre las puertas a un nuevo mundo de funcionalidades y es, sin lugar a dudas, la piedra angular de la tecnología ATM.

## **1.4. Aplicaciones nativas en ATM**

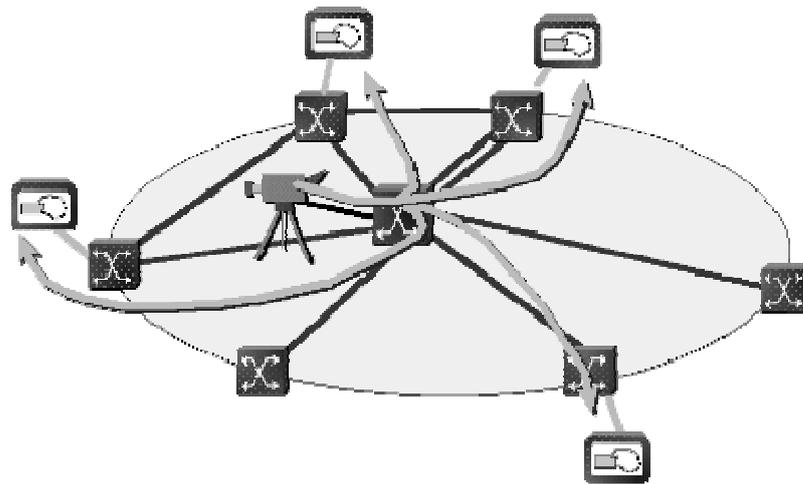
En este último apartado presenta un pequeño conjunto de aplicaciones que disfrutan, actualmente, de los nuevos servicios ofrecidos por las redes de transporte ATM .

### **1.4.1. Radiodifusión (*broadcasting*) de vídeo**

Mediante el uso de circuitos multipunto, una red ATM puede replicar en su interior una fuente de datos única hacia múltiples destinos. La replicación se realiza únicamente, siguiendo una estructura de árbol, allí donde el circuito multipunto se replica. De esta manera, el consumo de ancho de banda en el núcleo de la red se minimiza.

La aplicación más inmediata de los circuitos multipunto de ATM se encuentra en la distribución masiva de señal de vídeo desde un origen hasta múltiples destinatarios (por ejemplo: televisión por cable, radiodifusión (*broadcasting*) de vídeo, entre otras) . Un esquema de una aplicación de radiodifusión (*broadcasting*) en circuitos multipunto se puede ver en la figura 12.

**Figura 12. Circuitos multipunto en aplicaciones de radiodifusión (*broadcasting*) de video**



**Fuente:** <http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm.htm>

#### **1.4.2. Videoconferencia**

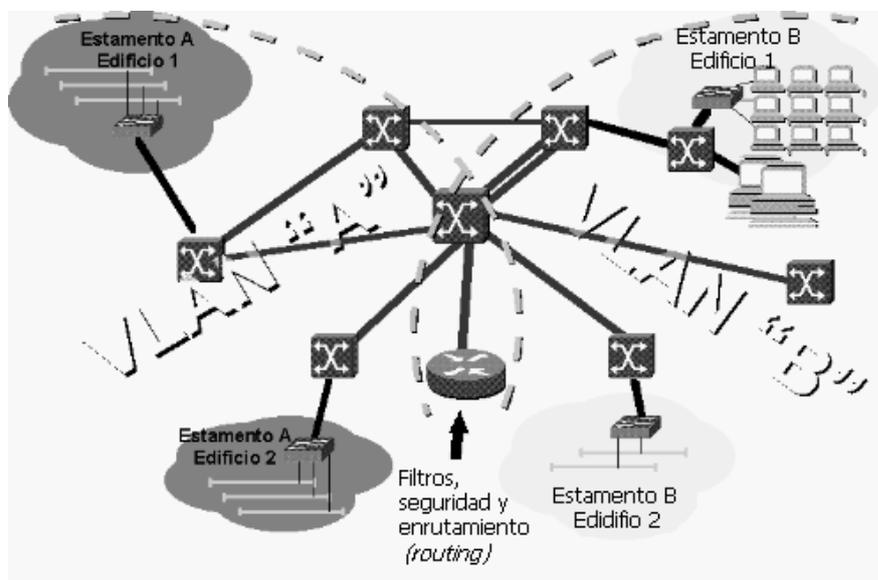
Las aplicaciones de videoconferencia pueden verse como un caso específico de *broadcasting* de vídeo en el que múltiples fuentes envían señal hacia múltiples destinos de manera interactiva.

Los circuitos multipunto conmutados abren un nuevo mundo de posibilidades para las aplicaciones de videoconferencia de alta calidad. Una determinada dependencia puede entrar a formar parte de la vídeo conferencia pidiendo, dinámicamente, una extensión de los circuitos multipunto correspondientes hacia su punto de conexión.

### 1.4.3. LAN virtual (VLAN)

Desde el punto de vista del transporte de datos LAN, las infraestructuras de comunicaciones ATM permiten la aplicación de la técnicas de redes virtuales. El administrador de la red puede hacer que un conjunto de dependencias conectadas a la red de transporte interconecten sus LAN de manera aislada de como lo hacen otras dependencias. Las redes virtuales son muy útiles en aquellos casos en los que las dependencias conectadas a la red de transporte no forman parte de un mismo estamento y se requiere, por lo tanto, un invisibilidad de los datos para cada organismo. Aunque aisladas, se podrían interconectar las diferentes redes virtuales mediante una función de enrutamiento (*routing*) disponible en cualquier punto de la red que, entre otras cosas, garantizase unas determinadas políticas de seguridad. En la figura 13 se observa la creación de una red virtual para tráfico LAN.

**Figura 13. ATM permite la creación de redes virtuales para el tráfico LAN**



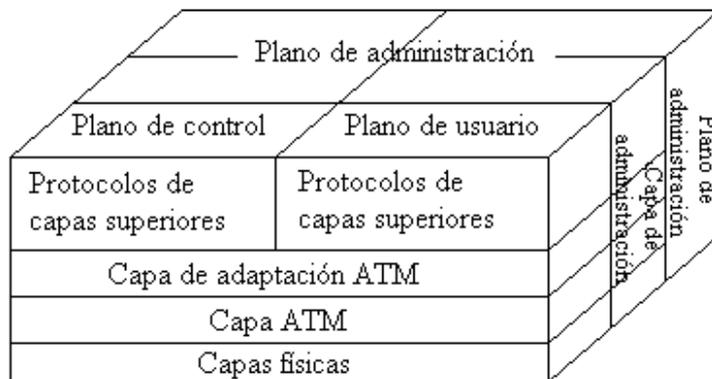
Fuente: <http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm.htm>

## 2. ESTANDARES UTILIZADOS EN ATM

### 2.1. Modelo ATM

El protocolo ATM consiste de tres niveles o capas básicas, las cuales se muestra en forma gráfica en la figura 14. A diferencia de muchas tecnologías LAN como Ethernet, que especifica ciertos medios de transmisión, (10 base T, 10 base 5, etc.) ATM es independiente del transporte físico. Las celdas ATM pueden ser transportadas en redes ópticas sincrónicas (*Synchronous Optical Network*) SONET, jerarquía digital sincrónica (*Synchronous Digital Hierarchy*) SDH, T3/E3, T1/E1 o aún en modems de 9600 bps.

Figura 14. Protocolo de modelo ATM de banda ancha



Fuente: [http://www.merino.serana.net/spanish/atm\\_indice.html](http://www.merino.serana.net/spanish/atm_indice.html)

### **2.1.1. Capa física**

Define las interfases físicas, los protocolos de trama y codificación para la red ATM. Hay diferentes opciones de conexiones físicas. Cada conexión física al conmutador ATM es un enlace dedicado y todos los enlaces pueden estar simultáneamente activos. Este nivel está dividido en dos subniveles, el subnivel dependiente del medio físico (PMD) y el subnivel de convergencia de transmisión (TC).

#### **2.1.1.1. Subcapa PMD**

La subcapa dependiente del medio físico PMD (*Physical Medium Dependent*) para cada medio, define cosas tales como formas de onda, ordenación de los bits, codificación en línea, recuperación del reloj, sincronización, etc. Además, para tráfico con temporización relacionada, proporciona información de temporización al nivel de adaptación ATM (AAL).

#### **2.1.1.2. Subcapa TC**

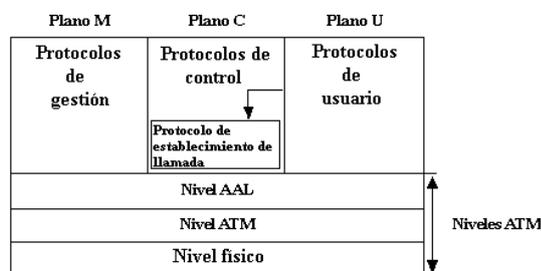
La subcapa convergencia de transmisión (*Transmission Convergence*) TC es la clave para que la celda ATM, viaje libremente sobre una amplia variedad de medios. Tiene que ver con la extracción de información contenida desde la misma capa física. Esto incluye la generación y el chequeo de la corrección de error en la cabecera (*Header Error Corrección*) HEC, extrayendo celdas desde el flujo de bits de entrada y el procesamiento de celdas desocupadas (*idles*) y el reconocimiento del límite de la celda. Otra función importante es intercambiar información de operación y mantenimiento (OAM) con el plano de administración. El subnivel TC empaqueta las celdas ATM salientes en la estructura de trama del medio de transmisión, rellenando con celdas nulas según se necesite. A la recepción, el subnivel TC determina los contornos de las celdas, extrayéndolas del flujo de bits, descartando celdas nulas y entregándolas al nivel ATM.

### 2.1.2. Capa ATM

Es el nivel de conmutación y transmisión de ATM. Define la estructura de la cabecera de la celda, y cómo las celdas fluyen sobre las conexiones lógicas en la red ATM. Realiza las funciones de multiplexación estadística de celdas procedentes de diferentes conexiones y su encaminamiento sobre las conexiones virtuales. Las conexiones lógicas en el nivel ATM, están basadas en el concepto de camino virtual (*virtual path*) y canal virtual (*virtual channel*). Una conexión de camino virtual (VPC) es una colección de conexiones de canal virtual (VCC) tributarios que son transportados a lo largo del mismo camino o ruta. Un conmutador de tránsito podría reaccionar únicamente a la información de camino (VPC), mientras que los conmutadores terminales reaccionarían a la información de salida (*fan-out*) (VCC), pudiéndose mapear diferentes sesiones contra VCIs sobre la misma conexión VPC.

Cada VPC o VCC puede estar establecido permanentemente, con lo que se tendrá una conexión virtual permanente (PVC), o establecido dinámicamente bajo demanda disponiéndose entonces, de una conexión virtual conmutada (SVC). Funciones de control y señalización asociadas con el plano C, y por lo tanto fuera del modelo de referencia ATM, permiten al usuario establecer y terminar dinámicamente VPCs y VCCs, el proceso se puede ver en la figura 15.

**Figura 15. Protocolos externos a ATM**

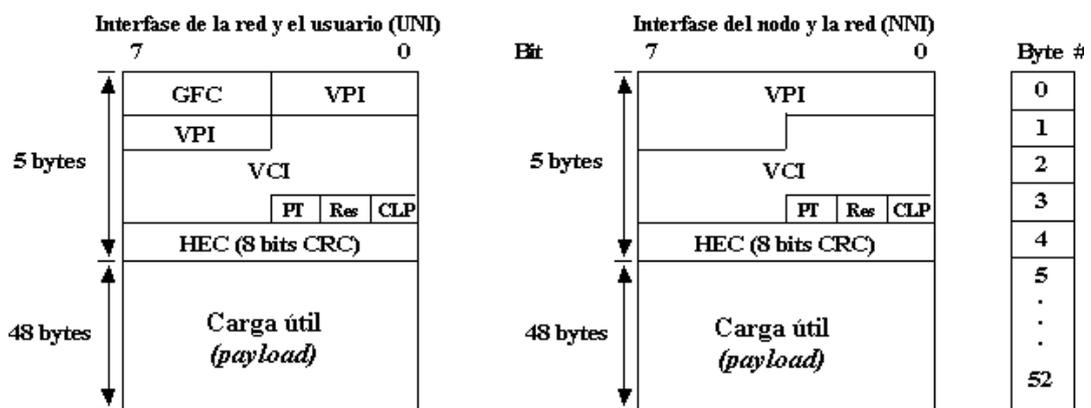


**Fuente:** [http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm\\_origenes/atm\\_origenes.htm](http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm_origenes/atm_origenes.htm)

Dentro de una red ATM, el camino seguido por los mensajes de señalización es una conexión virtual específica conocida como conexión de canal virtual para señalización (SVCC).

Un descriptor de tráfico, o contrato usuario-red, define los parámetros y reglas de cada VPC y VCC. Existen especificados descriptores de tráfico que definen el pico de tráfico (PCR), longitud máxima de ráfagas (MBS), tasa de bit media (SCR), variación del retardo (CDVT). El protocolo de control de la conexión negocia la clase de servicio específica y las características del ancho de banda de cada circuito virtual durante el establecimiento de la llamada. La red propaga esa petición internamente hasta su destino y verifica si los requerimientos exigidos se van a poder cumplir. En caso afirmativo, la red acepta el circuito y a partir de ese momento, garantiza que el tráfico se va a tratar acorde a las condiciones negociadas en el establecimiento. Esto permite que cada circuito virtual sea cortado a medida para su uso específico, por ejemplo vídeo o paquetes de datos, siendo la calidad del servicio (QoS) un característica inherente de ATM. Hay dos formatos diferentes para la cabecera de las celdas como se muestra en la figura 16.

**Figura 16. Formatos UNI y NNI**



Fuente: [http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm\\_origenes/atm\\_origenes.htm](http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm_origenes/atm_origenes.htm)

El primero se utiliza en el enlace de acceso entre el usuario y la red (ATM-UNI), y está pensado para usuarios que utilizan equipos que trabajan en modo nativo ATM y que generan directamente celdas.

El campo control de flujo genérico (GFC) tiene significado únicamente en este enlace y se incluye para asignar prioridades a las diferentes celdas, dependiendo del tipo de información que transportan, y que éstas sean colocadas en diferentes colas de salida según su prioridad. No está presente dentro de la red, y en su lugar se amplía el campo VPI.

El campo tipo de carga útil (PT) se utiliza para permitir que las celdas de los planos C y M, se distinguan de las celdas que contienen información de usuario, y también para informar de la existencia de congestión. El protocolo AAL5 utiliza un bit del campo PT para indicar el fin del mensaje (EOM) de una trama AAL5. El bit CLP permite que las celdas tengan una de dos prioridades: alta (CLP=0) y baja (CLP=1). Debido a que un conmutador ATM opera por multiplexación estadística de sus entradas, es posible que múltiples entradas compitan por una misma salida, dando lugar a que un amortiguador (*buffer*) temporal se desborde en un enlace de salida de un nodo ATM.

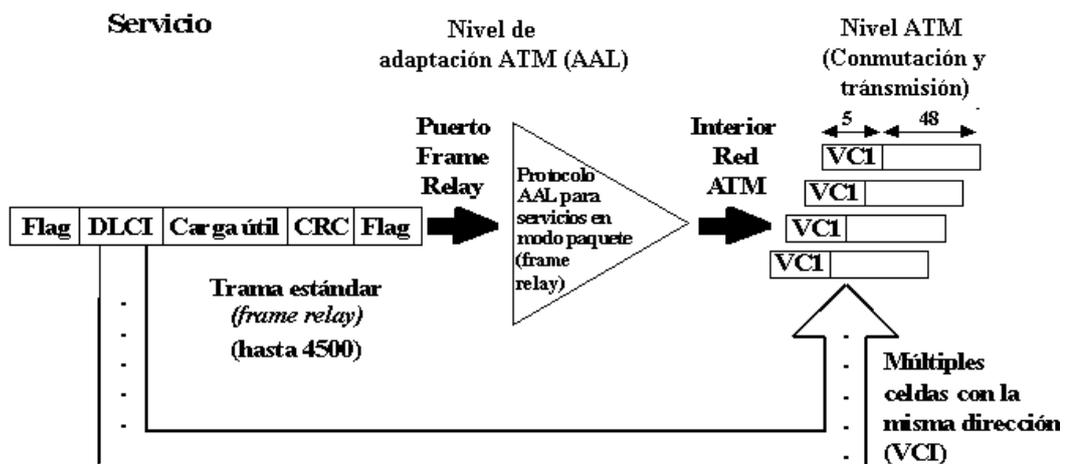
El bit CLP se utiliza para marcar aquellas celdas que en caso de congestión se puedan descartar primero. El campo HEC es un CRC de 8 bits para detección de errores en la cabecera, especialmente si el direccionamiento es correcto. Si falla, la celda es descartada. Si es correcto, se puede proceder inmediatamente a la conmutación. Las celdas vacías también son descartadas y se caracterizan por que su VPI/VCI es cero.

### 2.1.3. Capa de adaptación de ATM (AAL)

La tercera capa es la capa de adaptación ATM (AAL). La AAL juega un rol clave en el manejo de múltiples tipos de tráfico para usar la red ATM, y es dependiente del servicio. Como se ha indicado, ATM ha sido definido para proporcionar un soporte de conmutación y transmisión flexible para tráfico multimedia. En consecuencia, es esencial que ATM soporte un rango de tipos de servicios alternativos.

El nivel de adaptación ATM, como su nombre indica, realiza las funciones de adaptación (convergencia) entre las clases de servicio proporcionadas al usuario, por ejemplo transportar tramas de datos entre dos LANs, y el servicio basado en celdas proporcionado por ATM. Cuando una trama o flujo de bits, cualquiera que sea su origen, entra en una red ATM, el nivel de adaptación la segmenta en celdas. El proceso comienza inmediatamente cuando la primera parte de la trama entra en el conmutador de acceso a la red ATM. No hay que esperar hasta que la trama entera haya llegado, como se muestra en la figura 17.

Figura 17. Servicios en modo paquete



Fuente: [http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm\\_origenes/atm\\_origenes.htm](http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm_origenes/atm_origenes.htm)

Las celdas generadas son enviadas a través de la red ATM a alta velocidad, por ejemplo a 622 Mbps. Durante la totalidad del proceso, hay únicamente un punto donde la trama completa podría estar almacenada en el punto de salida de la red, sin embargo, bastará que haya un número suficiente de celdas en el punto de salida para comenzar la entrega al usuario.

En los conmutadores intermedios, todas las celdas son despachadas tan rápidamente como llegan. De hecho, en el momento que la trama ha entrado totalmente en el conmutador de acceso a la red, la mayor parte de la trama estará ya en el puerto de destino, próxima a salir o saliendo de la red ATM. También la utilización de celdas de tamaño pequeño y fijo, permite el intercalado y priorización de celdas en los amortiguadores (*buffers*) de salida de los conmutadores ATM, reduciéndose la sensibilidad a la congestión. La capa de adaptación de ATM yace entre la capa ATM y las capas más altas que usan el servicio ATM. Su propósito principal es resolver cualquier disparidad entre un servicio requerido por el usuario y atender los servicios disponibles de la capa ATM. La capa de adaptación introduce la información en paquetes ATM y controla los errores de la transmisión. La información transportada por la capa de adaptación se divide en cuatro clases según los criterios o propiedades expuestos en las clases de servicios. Estas propiedades definen ocho clases posibles, cuatro se definen como B-ISDN clases de servicios. La capa de adaptación de ATM define 4 servicios para equiparar las 4 clases definidas por B-ISDN.

- AAL-1
- AAL-2
- AAL-3
- AAL-4

### **2.1.3.1. Subcapa de convergencia (CS)**

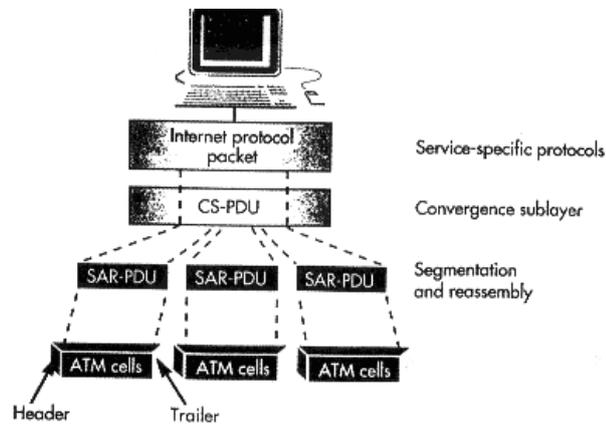
La subcapa de convergencia (*convergence sublayer*) realiza las funciones de convergencia entre el servicio ofrecido al usuario y el proporcionado por el nivel ATM. En esta capa se calculan los valores que debe llevar la cabecera y las cargas útiles (*payloads*) del mensaje. La información en la cabecera y en la carga útil (*payload*) depende de la clase de información que va a ser transportada.

### **2.1.3.2. Subcapa de segmentación y reensamblado (SAR)**

La subcapa de segmentación y reensamblaje (*segmentation and reassembly*) realiza las funciones de ensamblado/segmentación de los datos de origen para colocarlos en el campo de información de la celda y la correspondiente función de desensamblado/reensamblado en el destino. Esta capa recibe los datos de la capa de convergencia y los divide en trozos formando los paquetes de ATM. Además, agrega la cabecera que llevará la información necesaria para el reensamblaje en el destino.

La figura 18 aporta una mejor comprensión de ellas. La subcapa CS es dependiente del servicio y se encarga de recibir y paquetizar los datos provenientes de varias aplicaciones en tramas o paquete de datos longitud variable.

**Figura 18. Proceso de las capas CS y SAR**



Fuente: [http://www.merino.serana.net/spanish/atm\\_indice.html](http://www.merino.serana.net/spanish/atm_indice.html)

### 2.1.3.3. Tipos de servicios

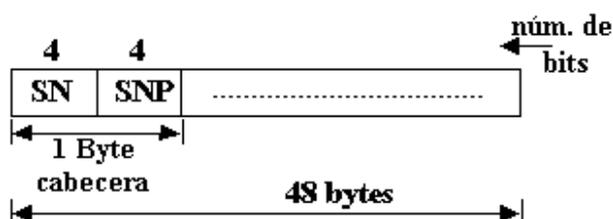
Los cuatro tipos o clases de servicios presentados en el capítulo uno, utilizan los 48 bytes del campo de carga útil en cada celda de forma diferente, pudiendo opcionalmente contener un campo de hasta 4 bytes para adaptación ATM.

#### 2.1.3.3.1. AAL-1

Este tipo de servicio, también conocido como velocidad binaria constante (CBR), se esfuerza en mantener un flujo con tasa de bit constante entre los SAPs de origen y destino. Sin embargo, la velocidad binaria acordada debe ser mantenida, incluso con pérdidas ocasionales de celdas o variaciones en el tiempo de transferencia de las mismas. Este servicio se asemeja al proporcionado por el sistema telefónico existente, ya que garantiza un número fijo de celdas por unidad de tiempo para la aplicación.

El formato del campo de información de la celda, conocido como segmento, incluye un número de secuencia de 4 bits (SN) y un campo asociado de 4 bits utilizado para proteger el número de secuencia (SNP) contra errores de un bit. Este formato se presenta en la figura 19.

**Figura 19. Formato del segmento CBR**



**Fuente:** [http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm\\_origenes/atm\\_origenes.htm](http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm_origenes/atm_origenes.htm)

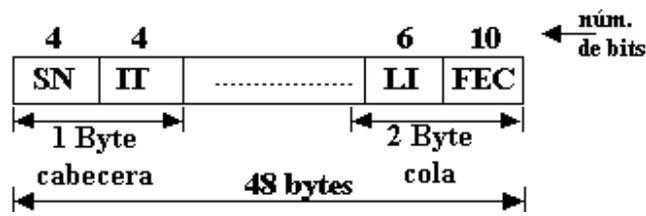
De esta forma es posible detectar pérdidas de segmentos. Las pérdidas de celdas se superan de forma acordada; por ejemplo, insertando segmentos ficticios en el flujo entregado. Las variaciones en el retardo de transferencia de celdas, son compensadas mediante amortiguamiento (*buffereado*) en el destino; la salida de segmentos correspondiente a una llamada, únicamente se comienza después de que se hayan recibido un número predeterminado de segmentos, este número viene determinado por la velocidad binaria del usuario. Valores típicos son 2 segmentos a velocidades de kilobits y 100 segmentos a velocidades de megabits por segundo.

El uso de amortiguamiento (*buffereado*) en el destino también proporciona un modo sencillo de superar cualquier pequeña variación entre las velocidades binarias en origen y destino; por ejemplo si cada uno está basado en diferente reloj.

### 2.1.3.3.2. AAL-2

También llamada velocidad binaria variable (VBR). En este tipo de servicio, aunque exista una temporización relacionada entre los SAPs fuente y el destino, la velocidad de transferencia real de información, puede variar durante la conexión. El segmento contiene un número de secuencia de 4 bits para la recuperación de celdas perdidas, el formato de este segmento se puede ver en la figura 20.

**Figura 20. Formato del segmento VBR**



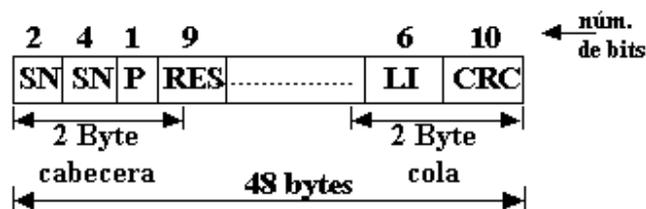
**Fuente:** [http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm\\_origenes/atm\\_origenes.htm](http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm_origenes/atm_origenes.htm)

El campo de tipo de información (IT) indica, o bien la posición relativa del segmento con relación al mensaje remitido, por ejemplo, una trama comprimida procedente de un video-codec, o si el segmento contiene información de temporización, o de otro tipo. Los tres tipos de segmento en relación a la información posicional son: comienzo de mensaje (BOM), continuación de mensaje (COM) y fin de mensaje (EOM). Debido al tamaño variable de las unidades de mensaje remitidas, un indicador de longitud (LI) en la cola del segmento indica el número de bytes útiles en el último segmento. Finalmente, el campo FEC habilita la detección y corrección de errores.

### 2.1.3.3.3. AAL-3

Llamado también datos orientados a conexión. El protocolo AAL3/4 proporciona dos tipos de servicios para la transferencia de datos: uno orientado a conexión (CO) y otro sin conexión (CLS). La diferencia entre los dos es que con el primero, antes de que cualquier dato pueda ser transmitido, debe establecerse una conexión virtual. El servicio orientado a conexión tiene dos modos operacionales: asegurado y no asegurado, cada uno soportando envíos de unidades de datos del servicio (SDUs) o mensajes de usuario, de tamaño fijo o variable. El modo asegurado proporciona un servicio fiable que garantiza que todas las SDUs son entregadas sin errores y en la misma secuencia con que fueron remitidas. Este es un servicio similar al proporcionado por una red de conmutación de paquetes tipo X.25 y, para proporcionar este servicio, todos los segmentos generados por el sub-nivel CS están sujetos a procedimientos de control de flujo y recuperación de errores. Para el modo no asegurado, los segmentos son transmitidos sobre la base del mejor intento; esto es, cualquier segmento corrompido es simplemente descartado y se deja a los niveles de protocolo de usuario superar esta eventualidad. El tipo de segmento (ST) indica si es el primero (BOM), continuación (COM), último (EOM), o el único (SSM) de una SDU remitida. En la figura 21 se muestra el formato de este segmento.

**Figura 21. Formato del segmento con conexión**



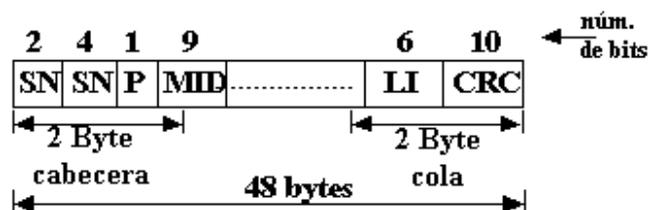
**Fuente:** [http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm\\_origenes/atm\\_origenes.htm](http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm_origenes/atm_origenes.htm)

El número de secuencia (SN) se emplea para detectar segmentos perdidos o duplicados y también para control de flujo. Un único bit de prioridad (P) permite que los segmentos tengan uno de dos niveles de prioridad. En la cola, el indicador de longitud (LI) indica el número de bytes útiles en el segmento y el CRC-10 está presente para la detección y eventual corrección de errores.

#### 2.1.3.3.4. AAL-4

Llamado también datos sin conexión. El servicio de datos sin conexión es probablemente el primero que va a ser soportado. Está pensado, por ejemplo, para la interconexión de LANs a alta velocidad. A diferencia del tipo 3 no hay señalización de llamada ni terminación, en su lugar conexiones permanentes o semipermanentes están siempre establecidas entre cada par de SAPs origen y destino. Aparte de esto, los dos servicios utilizan los mismos formatos en el subnivel de convergencia CS y segmento, el formato de este segmento se muestra en la figura 22.

**Figura 22. Formato del segmento sin conexión**

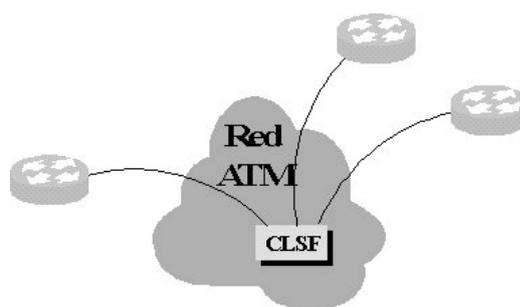


**Fuente:** [http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm\\_origenes/atm\\_origenes.htm](http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm_origenes/atm_origenes.htm)

Con los servicios sin conexión, el campo RES (reservado) está sustituido por el identificador del mensaje (MID). Normalmente celdas relacionadas con diferentes tramas estarán en tránsito en cualquier instante, el campo MID se utiliza para habilitar al subnivel SAR de destino y relacionar cada celda recibida con su SDU determinado.

Como se puede deducir de lo anteriormente expuesto, la pregunta que surge con los servicios sin conexión es cómo el origen determina el VPI correcto a utilizar, con sólo las direcciones de origen y destino de la trama remitida (SDU). Claramente, esto implica un nivel de encaminamiento por encima del fundamental proporcionado por el nivel ATM. Una solución para esto, es que el nivel ATM en cada nodo envíe todas las celdas a un nodo dado de destino conocido, en el cual está localizada una utilidad de encaminamiento de tramas, la cual conoce el camino o ruta a todas las direcciones de destino como se observa en la figura 23.

**Figura 23. Servicios sin conexión ATM**



**Fuente:** [http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm\\_origenes/atm\\_origenes.htm](http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm_origenes/atm_origenes.htm)

Usualmente esta información será introducida por el gestor de la red y para minimizar la sobrecarga se deben utilizar varios de estos nodos. Estos son conocidos como servidores de la función sin conexión (CLSF). Otro tema con este tipo de servicio se relaciona con el asignamiento de MIDs. Está claro que, si dos nodos fuente utilizan simultáneamente el mismo MID y las tramas son para el mismo destino, el procedimiento de reensamblado no funcionará. En consecuencia, para superar esta eventualidad, el CLSF puede también cambiar el MID durante su operación de retransmisión, si éste ya está en uso en un nodo de destino dado.

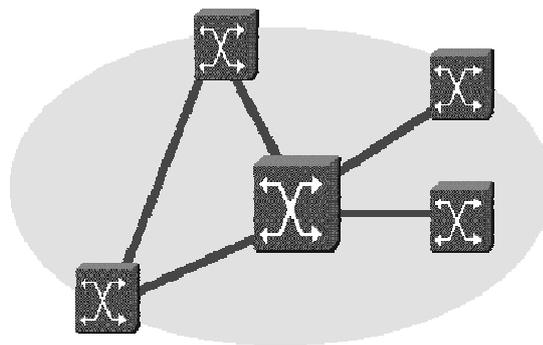
## 2.2. Topología de las redes ATM

Con tecnología ATM se consigue crear una red de transporte de banda ancha de topología variable. Es decir, en función de las necesidades y enlaces disponibles, el administrador de la red puede optar por una topología en estrella, malla, árbol, etc.

La gran ventaja es la indiscutible capacidad de adaptación a las necesidades que ATM puede ofrecer. Una empresa puede empezar a desarrollar su red de transporte de banda ancha con base en unas premisas de ancho de banda y cobertura obtenidas a raíz de un estudio de necesidades.

La evolución de las aplicaciones puede conducir a que una de esas premisas quede obsoleta y que se necesite una redefinición del diseño. En este caso, el administrador dispone de total libertad para cambiar enlaces o añadir nodos allí donde sea necesario, tal como se puede ver en la figura 24.

**Figura 24. ATM no tiene topología asociada**

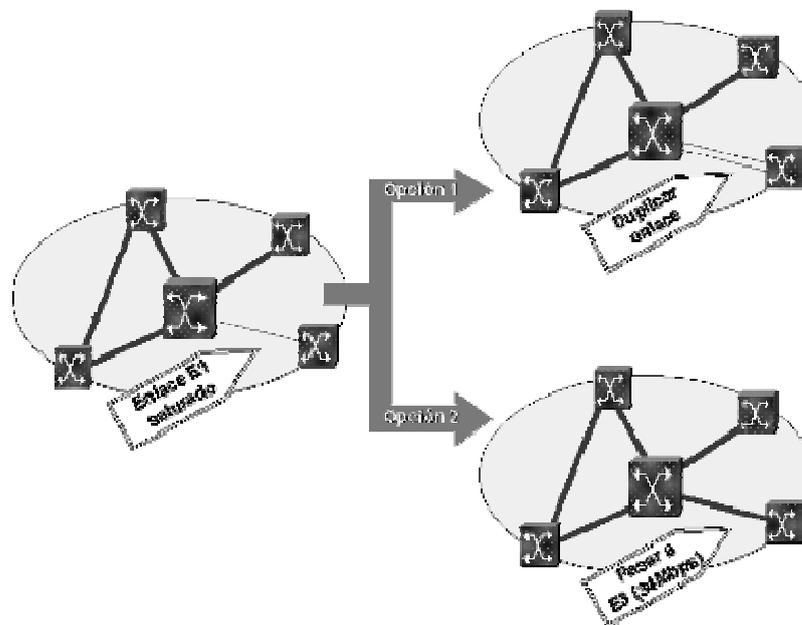


Fuente: <http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm.htm>

### 2.2.1. Modificación de enlaces

Se supone, por ejemplo, el caso de una dependencia que accede al resto de la red de transporte ATM mediante un enlace E1 a 2Mbps. Por un crecimiento inesperado en el número de trabajadores en dicha dependencia, las necesidades de ancho de banda sobrepasan el umbral de los 2Mbps que, en el momento del diseño de la red, se consideró suficiente. Tal caso se representa en la figura 25. Ante esta situación, el administrador de la red puede optar por dos soluciones. Una de ellas consiste en contratar un segundo enlace E1 para el acceso de la dependencia (un agregado de 4Mbps) o cambiar el enlace principal al otro nivel en la jerarquía (E3 a 34Mbps).

Figura 25. Libertad de actuación frente a cambios de enlace

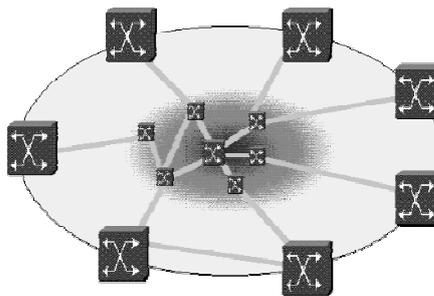


Fuente: <http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm.htm>

### 2.2.1. Aplicaciones sucesivas

Otro problema muy frecuente con el que se encuentran los administradores de las redes de transporte es cómo adaptarse a los cambios relativos a requerimientos de cobertura geográfica. Estos cambios, que muchas veces son debidos a cambios estratégicos de las empresas y por lo tanto imprevisibles, estaban asociados a graves problemas tecnológicos y económicos antes de la aparición de la tecnología ATM.

**Figura 26. Crecimiento ordenado en capas**



**Fuente:** <http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm.htm>

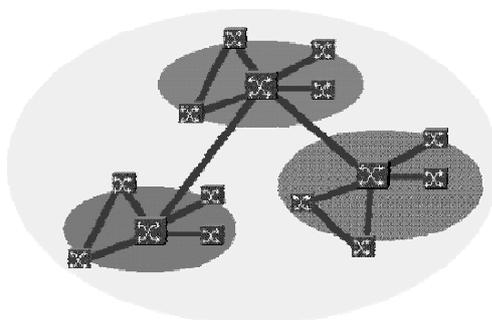
Como se a explicado anteriormente, los nuevos nodos insertados, son descubiertos automáticamente por el resto de conmutadores que conforman la red ATM y la red responderá automáticamente a esta ampliación sin ninguna necesidad de reconfigurar nada, en la figura 26 se observa este proceso.

### 2.2.1. PNNI

En los dos puntos anteriores se a explicado que los conmutadores que componen una red ATM son capaces de detectar, dinámicamente, los cambios de topología que ocurren a su alrededor. La base de todo este comportamiento es la existencia de un protocolo interno entre nodos, el PNNI.

Un conmutador ATM, intenta establecer relaciones PNNI con otros conmutadores por cada uno de sus puertos. Tan pronto se establece una de estas relaciones, se procede a un intercambio de información topológica entre ellos. Por ende cada conmutador puede hacerse una idea de cómo está diseñada la red, como se muestra en la figura 27.

**Figura 27. PNNI permite organizar las redes en áreas**



**Fuente:** <http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm.htm>

Frente a un cambio topológico los nodos afectados notifican el evento a través de sus relaciones PNNI a el resto de conmutadores en la red. Este procedimiento está basado en el algoritmo SPF (*shortest path first*). Para permitir que este tipo de protocolo no represente un problema a la escalabilidad de la red, el PNNI usa una aproximación jerárquica. La red puede ser dividida en áreas dentro de las cuales se ejecuta una copia independiente del algoritmo. Cada área, a su vez, puede estar compuesta por un número indeterminado de sub-áreas y así indefinidamente. Las redes basadas en tecnología ATM con PNNI pueden crecer hasta más de 2500 conmutadores.

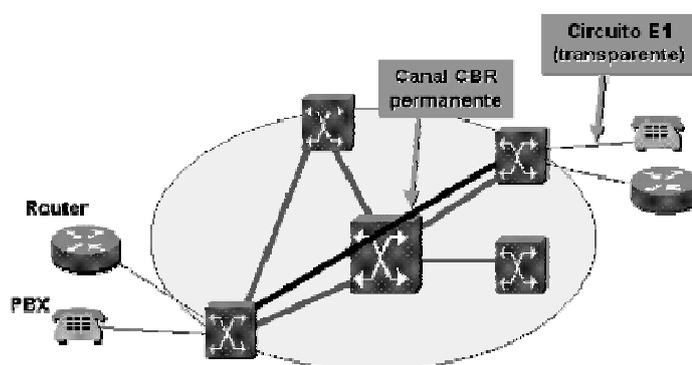
## 2.3. Transporte de servicios tradicionales

En el campo de las aplicaciones, una red de transporte digital ATM ofrece un conjunto nuevo de funcionalidades disponibles sin, por ello, dejar de ofrecer las funciones tradicionales.

### 2.3.1. Emulación de circuito

Consiste en la creación de un canal permanente sobre la red ATM entre un punto origen y otro de destino a una velocidad determinada. Este canal es de velocidad de bit constante (CBR). En los puntos extremos de la red ATM se disponen interfaces eléctricas adecuadas a la velocidad requerida y los equipos terminales a ellos conectados dialogan transparentemente a través de la red ATM. Los datos que envían los DTE en los extremos de la emulación de circuito, son transformados en celdas y transmitidos a través del circuito permanente CBR hacia su destino. A la vez que se procede a la transformación de la información en celdas, se ejecuta un algoritmo de extremo a extremo, que garantiza el sincronismo del circuito. Lo anterior se observa en la figura 28.

**Figura 28. Emulación de circuito**

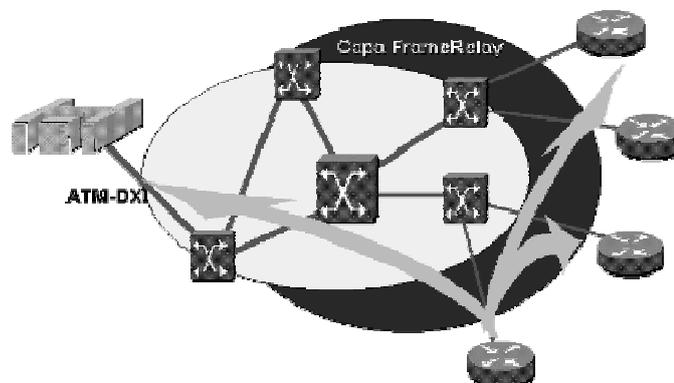


Fuente: <http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm.htm>

### 2.3.2. Retransmisión de tramas (*frame relay*)

Sin evolucionar a aplicaciones nativas, ATM ofrece un conjunto nuevo de opciones para el transporte de datos que se benefician de la nueva concepción de la red de transporte. Este es el caso del transporte de retransmisión de tramas (*frame relay*) sobre ATM. El transporte del tráfico de retransmisión de tramas (*frame relay*) sobre ATM se consigue con el uso del protocolo ATM-DXI. Mediante este protocolo se logra que la red ATM se comporte como un gran conmutador de retransmisión de tramas (*frame relay*). Los DLCI de FR se transforman en VCI de ATM en la capa externa de la red de transporte. De este modo, los equipos terminales pueden transmitirse información directamente sobre la red ATM. Esta aproximación tiene dos ventajas adicionales. Por un lado, la red ATM conoce el volumen de tráfico que hay en cada momento y, por lo tanto, puede reasignar el ancho de banda no utilizado hacia otros servicios de datos. Por otro lado, en caso de congestión en algún punto de la red, se pueden usar los mecanismos de retransmisión de tramas (*frame relay*) de control de flujo para informar a los DTE que realicen sus transmisiones y, por lo tanto, solucionar la congestión sin descartar celdas. En la figura 29 se muestra una integración de retransmisión de tramas *frame relay* ATM.

**Figura 29. Integración retransmisión de tramas (*frame relay*) - ATM**

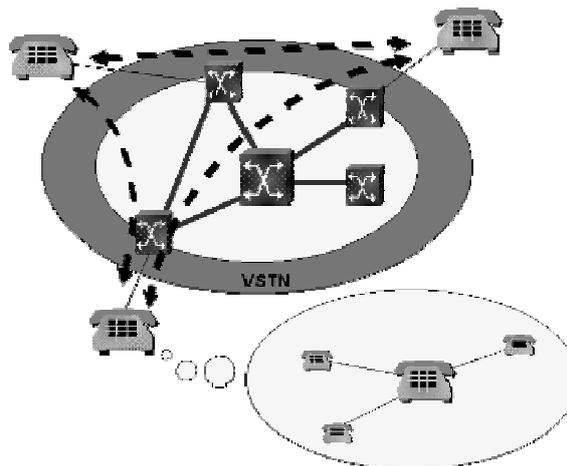


Fuente: <http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm.htm>

### 2.3.3. Conmutación de voz (VSTN)

Como para el tráfico la retransmisión de tramas (*frame relay*), ATM ofrece una nueva manera de transportar el tráfico de voz sobre la red de transporte. La aproximación consiste en conseguir que la red de transporte ATM sea emulada como una gran centralita de tránsito. Esta técnica recibe el nombre de conmutación de voz sobre ATM y en forma grafica se puede observar en la figura 30.

**Figura 30. Conmutación de voz sobre ATM**



**Fuente:** <http://www.comunicaciones.unitronics.es/tecnología/atm.htm>

Lo que se busca es que el propio conmutador ATM pueda interpretar el canal de señalización de la centralita y crear canales conmutados para la transmisión de cada circuito de voz independientemente. El circuito va desde la centralita origen hasta la de destino sin la necesidad de pasar por ninguna centralita de tránsito externa. Al igual que en el caso de la retransmisión de tramas (*frame relay*), la red ATM puede conocer el número de llamadas de voz que hay en cada momento del tiempo y, por lo tanto, usar únicamente el ancho de banda necesario para su transmisión (el resto se reasigna a otros servicios).

Otras ventajas de esta aproximación es la capacidad de la red ATM de informar a las centralitas por el canal de señalización como prosperan sus llamadas individualmente. Frente a estas notificaciones, una centralita puede decidir conmutar una llamada determinada por la red pública en caso de congestión en la red de transporte corporativa. En el caso que las centralitas usen compresión de voz, el uso de la técnica de conmutación de voz sobre ATM les asegura que un determinado circuito se comprime/descomprime en un único punto y, por lo tanto, la señal no sufre la pérdida de calidad asociada a las redes basadas en muchos saltos entre centralitas.

La conmutación de voz sobre ATM elimina la necesidad de grandes centralitas de tránsito existentes en las grandes redes de voz y hacen más sencillas las tablas de encaminamiento con lo que la escalabilidad es mucho mayor.

#### **2.4. Tipo de servicio y velocidades en ATM**

Los servicios de transporte son aquellas funciones y datos que suministra el protocolo a los usuarios (ya sean aplicaciones u otras entidades) de la capa superior. Hay servicios orientados a conexión (mediante datagramas generalmente) y no orientados a conexión (pueden ser circuitos virtuales).

Generalmente, un servicio orientado a conexión es más seguro y proporciona detección de errores y secuencialidad (como en capas más inferiores). Pero hay casos en que un servicio no orientado a conexión es más apropiado, como los siguientes.

- Recolección de datos de entrada: no es necesaria la conexión constante y además, una pérdida de datos no es muy significativa ya que más adelante llegarán nuevos datos.
- Diseminar datos de salida: no es necesaria una conexión continua cuando sólo se le avisa a usuarios u otras entidades de ciertos sucesos.

- Petición-respuesta: cuando un servidor suministra datos pedidos por varios usuarios no es necesaria la conexión continua .
- Aplicaciones en tiempo real.

El ATM *forum*, grupo de fabricantes y usuarios dedicado al análisis y avances de ATM, ha aprobado cuatro velocidades UNI (*User Network Interfaces*) para ATM: SONET/SDH STS-3c (155.52 Mbps), DS3(44.736 Mbps), E3(34.368 Mbps), posiblemente DS1/E1, así como 100 Mbps con codificación 4B/5B para fibra local (derivado del estándar FDDI a.k.a. TAXI) y 155 Mbps con codificación 8B/10B para UNI privadas.

UNI privadas se refieren a la interconexión de usuarios ATM con un conmutador ATM privado que es manejado como parte de la misma red corporativa. Aunque la tasa de datos original para ATM fue de 45 Mbit/s especificado para redes de operadores transportadores (*carriers*) con redes T3 existentes, velocidades UNI adicionales se han venido evaluando y están ofreciéndose. También hay un alto interés en interfaces para velocidades E1 (2Mbps) y T1 (1,544 Mbps) para accesos ATM de baja velocidad.



### **3. ESTRATEGIAS PARA LA RECUPERACIÓN DE TRAYECTORIAS**

#### **3.1. Introducción**

En el presente capítulo se describen las diferentes características y estrategias designadas, para optimizar las trayectorias disponibles, y lograr así la correcta recuperación de la información en redes ATM.

Es importante hacer notar que las características que brinda ATM mencionadas en este documento son ejecutadas automáticamente por la red. Ellas no requieren de alguna intervención manual para que las mismas se lleven a cabo.

#### **3.2. Métodos de recuperación de trayectorias lógicas**

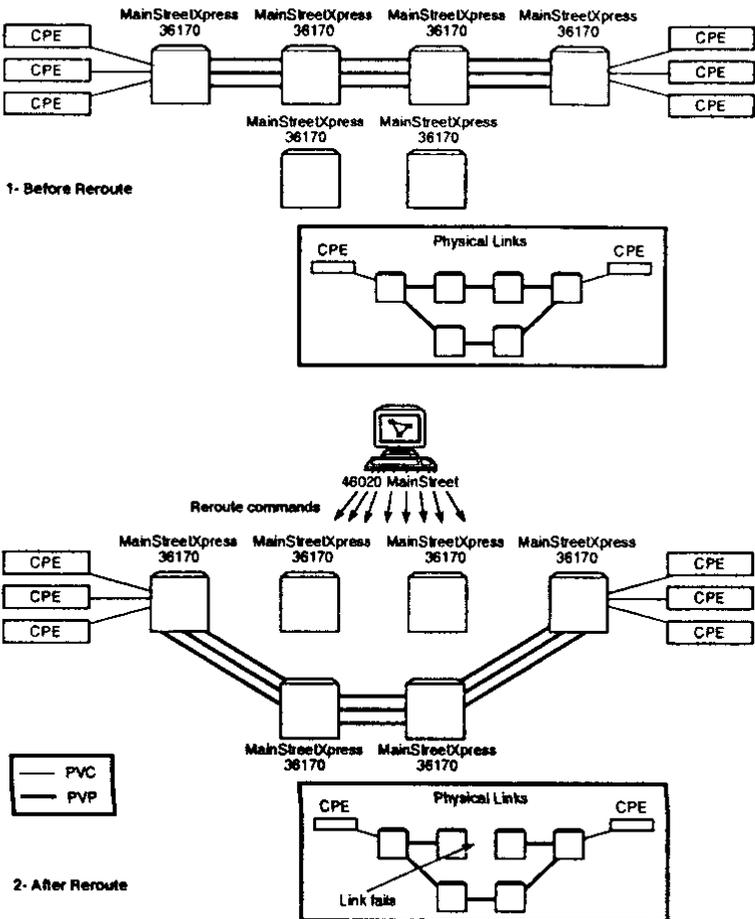
A continuación se introduce y se explican las diferentes formas lógicas para la recuperación de trayectorias en redes ATM.

##### **3.2.1. Enrutamiento automático alterno**

El enrutamiento automático alterno AAR (*Alternate Automatic Rerouting*), tiene la característica que puede encaminar o intercambiar VCCs y VPCs, en el caso que se trate de un nodo o de un enlace que esté en falla. La estación administradora de la red es la parte de la misma que controla el encaminamiento. El encaminamiento inicia en el momento de recibir un aviso sobre la falla en algún nodo de la red.

Cuando la falla es detectada, se examina la topología de la red, y se busca en una base de datos la mejor alternativa para mantener el enlace, al encontrar dicha alternativa se enruta hacia la trayectoria nueva, desechando la trayectoria con falla existente en la red, logrando así mantener el enlace siempre activo. Se envía entonces un mensaje al nodo que presentó la falla, indicado mediante un comando, que la trayectoria a sido establecida sobre una nueva ruta e inmediatamente se desconecta la ruta antigua. A manera de ejemplo se puede ver la figura 31.

**Figura 31. Ejemplo de AAR**



Fuente: Newbridge. *Path Recovery Strategies*, p. 6.

En la primera parte de la figura anterior, es decir antes de la conmutación hacia la nueva ruta, se muestran las trayectorias lógicas de la red antes de la falla. Hay diversos VCC y VPC para las trayectorias. En la segunda parte de la figura, o sea después de la conmutación hacia la nueva ruta, se muestran la red después de ocurrida la falla. Al ser detectada la falla en el enlace, se envían comandos a los nodos para encaminar las trayectorias. Nótese que las trayectorias tienen que ser reenrutadas sobre una alternativa establecida de enlaces.

Al momento de encaminar una trayectoria en la red, la misma determina primero todas las rutas disponibles, entre la fuente y el destino. Posteriormente selecciona la mejor ruta de todas las opciones disponibles. El criterio de selección para determinar si una ruta es una posible candidata para soportar la trayectoria es el siguiente.

- Capacidad: se debe considerar la capacidad disponible en cada enlace físico a lo largo de la ruta, para determinar si el ancho de banda disponible soportará la trayectoria. Esta relación se puede escribir de la siguiente manera:

$$\sum \left( \frac{PathBandwidth}{BookingFactor} \right) \leq LineRate$$

**Fuente:** Newbridge. *Path Recovery Strategies*. p. 7.

Donde el ancho de banda de cada trayectoria depende de la clase de servicio. Para CBR las trayectorias PIR son usadas. Para VBR las trayectorias SIR son usadas y para UBR/ABR las trayectorias MIR son usadas.

- Etiquetas personalizadas: sirven para comparar las etiquetas de la trayectoria con las de la ruta física del enlace, para determinar si la ruta está permitida para soportar la trayectoria.

Las etiquetas personalizadas o del cliente como también se les conoce, es otra opción que ayuda a conducir y guiar la ruta de la trayectoria en la red. Las etiquetas tales como las de seguridad o satelitales, pueden ser personalizadas para permitir el ingreso a la red. Aquí las etiquetas se muestran como campos sobre todo el enlace, además de las diferentes formas de configuración de las trayectorias. Estos campos personalizados se encargan de controlar la ruta de la trayectoria, verificando si se puede usar o evitar el enlace especificado. Por ejemplo, una etiqueta personalizada llamada seguro puede ser creada y configurada sobre varias trayectorias. Esto permitiría garantizar que estas trayectorias son conmutadas dentro del área de la red más segura (quizá el tráfico sobre el enlace en esta área es encriptado).

Para la elección de la mejor ruta, hay que tener en consideración los siguientes criterios, en el orden en el que ellos se muestran, para determinar las mejores rutas posibles para un VPC o VCC en la trayectoria.

- Costo: ATM considera el costo del enlace físico cuando se está determinando la mejor ruta posible, seleccionando de esta manera el costo más bajo posible para la ruta.
- Saltos: cada vez que múltiples rutas potenciales con igual costo y SIR son cargadas, se debe unir a esto las consideraciones del número de saltos cuando se está determinando la mejor ruta posible, seleccionando de esta manera, la ruta con el menor número de saltos.
- Carga: siempre que múltiples rutas potenciales con igual costo son unidas entre sí, las consideraciones de la carga cuando se está determinando la mejor ruta posible, se basan en seleccionar la ruta con la carga más estrecha o angosta.

De nuevo el valor de la capacidad usado cuando se calcula la carga, depende de la clase de servicio de las trayectorias.

- Uso de VPC en el enlace: cada vez que múltiples rutas potenciales con igual costo, carga y saltos son unidas, se considera en todo caso una configuración de un enlace VPC, seleccionando la ruta que tiene dicho enlace VPC.

Aquí son diversos los complementos de las opciones en AAR disponibles sobre la red, principalmente que ayudan en el direccionamiento, orden y conducción del resultado de las trayectorias a través de la red. Estas opciones son llamadas prioridad y factores reservados duales.

La opción de prioridad permite que las trayectorias sean condicionadas de acuerdo a su importancia, tal que cuando AAR intenta la conmutación alrededor de una falla, se hace según la configuración condicionada. Las trayectorias con prioridades altas, son conmutadas antes que las trayectorias con prioridades bajas.

Por otro lado los factores reservados duales permiten enlaces físicos que tienen dos factores reservados. Uno factor reservado para conmutación y un factor reservado para reconmutación. El factor reservado para conmutación es usado durante la conmutación de la trayectoria seleccionada inicialmente y el factor reservado para la reconmutación es usado cuando la conmutación de una trayectoria en la red falla, resultando así un proceso de reconmutación. Esta opción permite a la red aprovecharse de enlaces que ya han sido reservados, para transportar temporalmente algunas trayectorias conmutadas. Esto también proporciona una alternativa para tener de sobra capacidad reservada para conmutar diferentes tipos de tráfico.

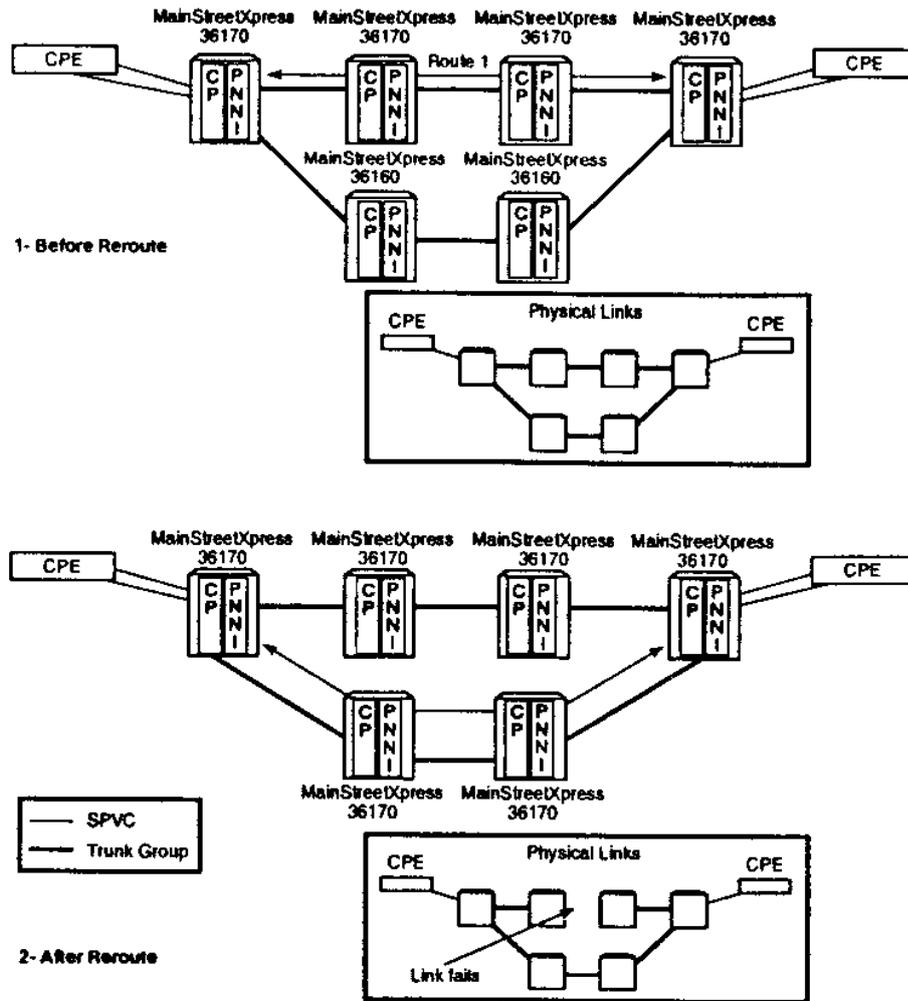
### 3.2.2. PVCs flexibles

Los PVCs flexibles son conexiones virtuales permanentes que son establecidas por medio de la funcionalidad de las señales que vienen con la infraestructura de los SVCs. A diferencia del AAR, esta funcionalidad es ejecutada por los elementos de la red distribuidos de cierta manera. Los SPVCs (*Soft Permanent Virtual Connections*), también encaminan trayectorias a una velocidad más rápida que AAR. La red principal es usada para condicionar los SPVC, sin embargo, estos no ejecutan algún cálculo de ruta ni tampoco algún mensaje de la trayectoria establecida. Estos simplemente proveen al nodo fuente con una dirección ATM de destino, y mediante los nodos SVC, señalar y encaminar a través de la ejecución de un programa para establecer las trayectorias. Cuando una falla es detectada, la trayectoria regresa hacia el nodo fuente, el cual reestablece la trayectoria y establece un nuevo enlace sobre dicha trayectoria.

Hay que notar que los SPVCs deben hacer un recorrido sobre los grupos troncales de señalización. Esto es debido a que conexiones virtuales dedicadas al paso de señales y rutas de información requieren ser establecidas para dichos SPVCs.

La figura 32 ilustra la conmutación mediante SPVC. En este ejemplo cada nodo tiene un procesador de llamadas y una tarjeta PNNI (*Private Network Node Interface*) instalada. Estos son grupos troncales de señalamiento entre cada nodo. Cada grupo troncal tiene señalado y enrutado conexiones virtuales configuradas, las cuales portan las señales y las rutas de información respectivamente. Las trayectorias SPVC tienen que ser configuradas y los nodos tienen que ser establecidos para las trayectorias sobre la ruta 1.

Figura 32. Ejemplo de SPVC



Fuente: Newbridge. *Path Recovery Strategies*. p. 10.

En la primera sección de la figura 32 se muestran las trayectorias lógicas en la red, que tienen prioridad sobre alguna falla, se puede notar que estas son varias SPVCs. La segunda sección muestra la red después de haber ocurrido la falla. Se observa que las trayectorias tienen que ser conmutadas sobre las rutas alternativas, para este caso la ruta 2.

Cuando una falla ocurre sobre la ruta 1, inmediatamente la falla es detectada, inmediatamente se envía la señal de regreso al nodo fuente. La fuente confirma la señal enviada y establece una nueva trayectoria, en este caso mediante la ruta 2. Desde la perspectiva de el CPE el dispositivo de conexión es simplemente un PVC.

### **3.2.3. Acompañamiento de VP para trayectorias VCC**

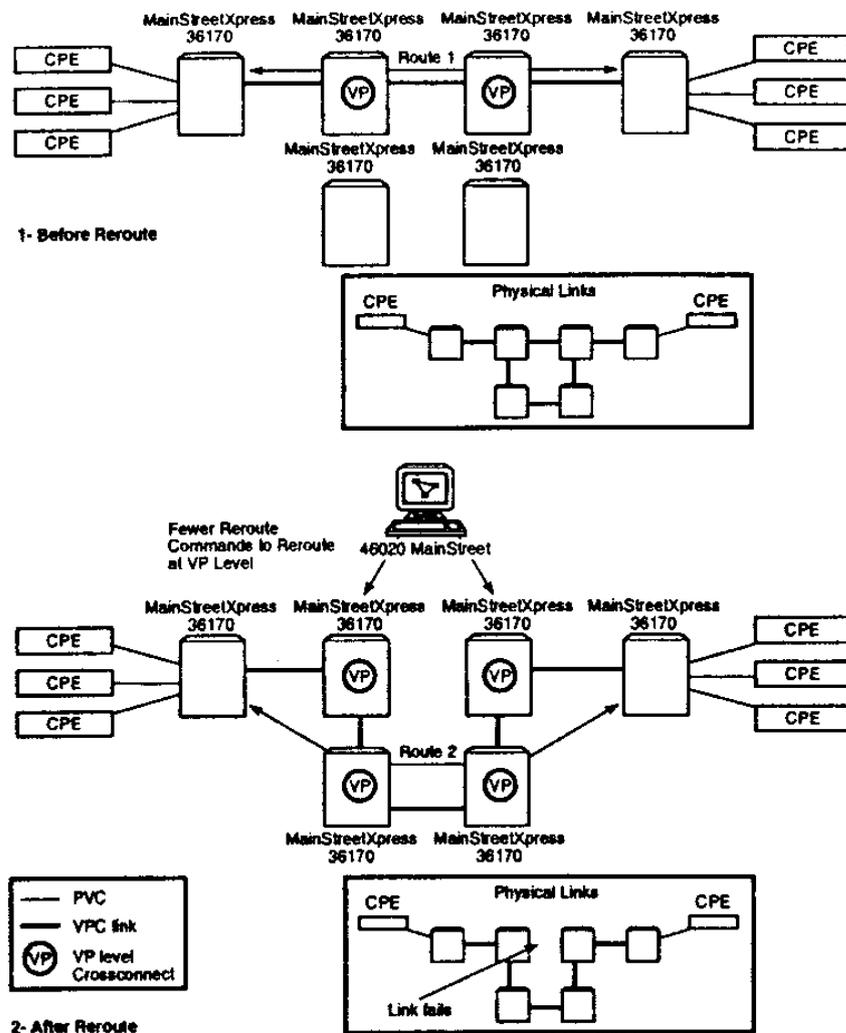
La red administradora viene equipada con una opción configurada que ayuda a optimizar la ejecución del encaminamiento de grupos de trayectorias VCC, las cuales son proporcionadas a la misma fuente y destino. La opción es llamada acompañamiento de VP y ésta trabaja en unión con AAR. El concepto de acompañamiento de VP viene de que es un grupo en común de trayectorias VCC y tienen las mismas trayectorias virtuales. Por ejemplo, todos ellos usan los mismos VPIs (*Virtual Path Identifier*). Los niveles de encaminamiento VP pueden entonces ser usados para encaminar el grupo entero de VCCs en una simple operación. Usando el acompañamiento de VP permite al AAR que enrute muchas más conexiones en un periodo dado de tiempo, que si enrutara las trayectorias VCC una por una.

El acompañamiento de VP es recomendado para redes con un gran número de trayectorias de VCC que tengan los mismos puntos finales. Esto es también útil para acompañamiento de tráfico dentro de un grupo en común de interesados.

El acompañamiento de VP es llevado a cabo por medio de una opción que configura el enlace con VPC. El punto terminal de un enlace VPC puede ser configurado como nodo o como puerto. Esto es recomendado para enlaces VPC, los cuales son usados para propósitos de acompañamiento de VP, siendo configurados con ambos puntos terminales como nodos. Esta selección proporciona cierto grado de flexibilidad del encaminamiento.

La optimización de la ejecución del encaminamiento acompañado de VP es completamente realizada cuando una falla ocurre en el interior de la red. Si la falla ocurre en algún lado de la red, las trayectorias necesitan ser enrutadas individualmente reduciendo así el beneficio principal. La optimización del encaminamiento mediante el uso del acompañamiento de VP se muestra en la figura 33.

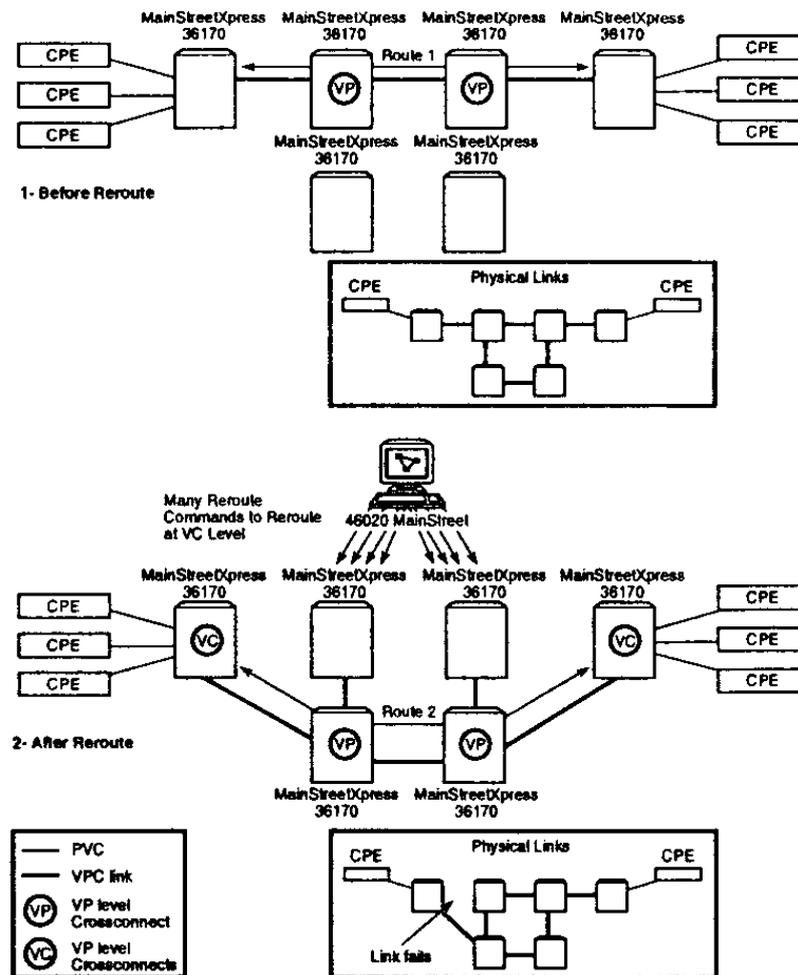
Figura 33. Mayor beneficio en el núcleo de la red



Fuente: Newbridge. *Path Recovery Strategies*. p. 13.

Si la falla ocurriera en el centro o núcleo de la red, se erutarían las trayectorias hacia otro nivel de VP. Si la falla ocurriera en las orillas de la red como se muestra en la figura 34, entonces el beneficio del acompañamiento de VP es insignificante porque los niveles de conexión de VC tienen que ser movidos hacia las orillas del nodo.

**Figura 34. Beneficio insignificante en los extremos de la red**



Fuente: Newbridge. *Path Recovery Strategies*. p. 14.

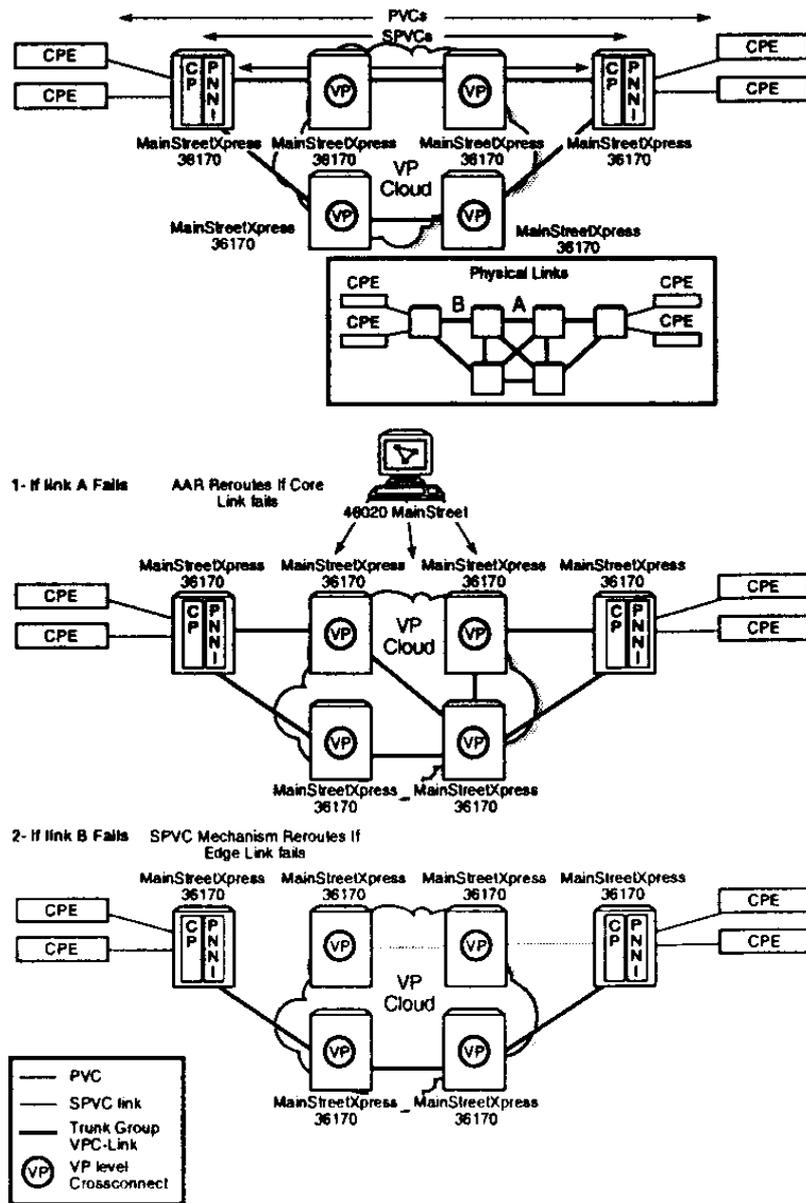
### **3.2.4. Acompañamiento de VP para SPVCs**

En ciertos casos puede ser más beneficioso el uso igualmente del acompañamiento de VP (AAR) y al mismo tiempo la funcionalidad de los SPVC. Este método híbrido es utilizado en aplicaciones donde la ejecución del encaminamiento es lo principal.

El diseño toma en cuenta la funcionalidad de los SPVC para el acceso a los puntos extremos de la red y usa la funcionalidad del acompañamiento de VP para el núcleo de la red. Este diseño toma ventaja sobre los numerosos métodos existentes.

La figura 35 muestra el encaminamiento acompañado de VP en el núcleo (en la sección 1 de la figura si el enlace A falla) y el encaminamiento mediante SPVC para los extremos (en la sección 2 de la figura si el enlace B falla). Si algo en el enlace del núcleo falla entonces AAR podría erutar el acompañamiento de VP para VCCs. Si algo en los puntos extremos de la red falla entonces la funcionalidad de SPVC ejecuta el encaminamiento.

Figura 35. Acompañamiento de VP para SPVCs



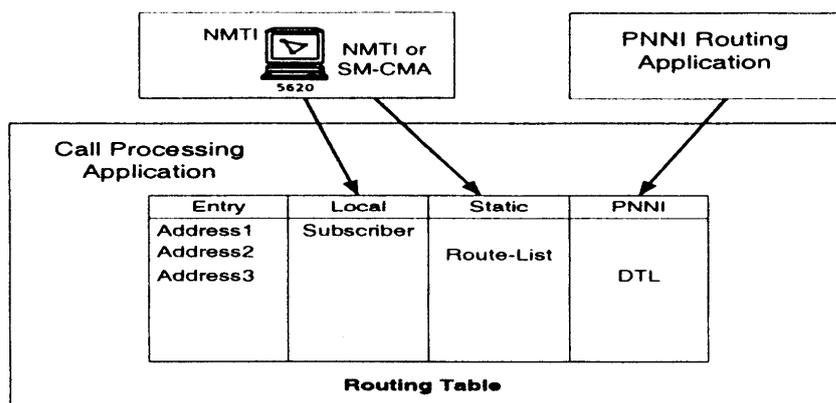
Fuente: Newbridge. *Path Recovery Strategies*. p. 16.

## 4. CONMUTACION ESTÁTICA

### 4.1 Enrutar

Aquí se presenta una tabla de conmutación que está provista de los enlaces necesarios entre el direccionamiento y la información necesaria dirigida hacia el SVC sobre la red ATM para el propio destino. Tres son los tipos de ingresos en la tabla de conmutación. Un ingreso a la tabla de conmutación PNNI, un ingreso a la tabla de conmutación estática y un ingreso a la tabla de conmutación local. La tabla de conmutación contiene dentro de ella, la aplicación o aplicaciones del proceso de llamada o selección, ya sea en una configuración integrada o en cada una de las tarjetas del proceso de llamada o selección en la configuración no-integrada. En la figura 36 se muestra una tabla de conmutación.

Figura 36. Tabla de enrutamiento



Fuente: Alcatel. *Routing and Addressing*, p. 25.

Los ingresos a la tabla de conmutación PNNI son generados por las aplicaciones de la conmutación PNNI. Las aplicaciones de la conmutación PNNI son ejecutadas una por una en la tarjeta de control integrado o una tarjeta de servicios separados denominada configuración no-integrada. Los ingresos a la tabla de conmutación PNNI son direcciones o prefijos de direcciones descubiertas por la aplicación del PNNI como un resultado de otros nodos, anunciando directamente el uso de un sumario de direcciones PNNI. Asociado con el ingreso a la tabla de conmutación PNNI está una lista de tránsito designado, conocida como DTL, la cual describe las trayectorias ingresadas hacia las direcciones llamadas. La aplicación de la conmutación dinámica del PNNI es descrita más adelante.

Un ingreso a la tabla de conmutación estática es generado manualmente por el administrador. Los ingresos a la tabla de conmutación estática son direcciones o prefijos de direcciones que son asociadas con la información de la siguiente dirección. Estos ingresos son generados automáticamente cuando las direcciones o prefijos de direcciones son directamente asignadas para adjuntarse con la UNI. Cuando se enruta localmente se toma lugar sobre los conmutadores para los cuales el abonado o suscriptor llamado es conectado.

Usar el protocolo de enrutamiento PNNI en una red de servicios conmutados es preferible antes que usar un enrutamiento estático, ya que esto permite a la red engrandecer su escalabilidad, facilitar su configuración y respuesta automática ante cambios en la red.

#### **4.1.1. Selección del enrutamiento**

Las siguientes reglas generales son usadas cuando se utiliza una tabla para enrutar una llamada a una dirección determinada.

- El ingreso a la tabla de enrutamiento se hace con la pareja de dirección más larga para el número de la llamada de partida escogido.
- Si una pareja de direcciones es encontrada, y la llamada falla por alguna razón, la llamada establecida y agregada es liberada, hay que procurar cambiar el ingreso a la tabla de enrutamiento por otra donde las direcciones sean más precisas.
- 4 bit de resolución es la resolución más baja disponible para el conjunto.
- Todas las llamadas agregadas son dirigidas según la información de enrutamiento que les acompaña. Por ejemplo, todas las llamadas agregadas unidas en progreso, incluyendo las que vienen de regreso, son afectadas por los cambios en la configuración del enrutamiento.
- Los cambios en la configuración del enrutamiento no afectan los SVCs establecidos.

Un ingreso a una tabla para enrutar en particular, puede estar determinado por más de un método. En la siguiente tabla se presenta esto, donde Address4, tiene tanto un enrutamiento estático asociado con un PNNI generado por una DTL. Esta situación puede aparecer cuando la red está migrando de un enrutamiento estático hacia un enrutamiento PNNI. Similarmente Address5 tiene tanto un subscripto local asociado con un PNNI generado por una DTL. Esto puede ocurrir cuando los subscriptores están en un ambiente doble.

**Tabla I . Tabla para enrutar**

<b>Entry</b>	<b>Local</b>	<i>Static</i>	PNNI
Address1 Address2 Address3 Address4 Address5	Subs. 1   Subs. 2	<i>Route-List</i>  <i>Route-List</i>	DTL DTL DTL

La precedencia para el ingreso a la tabla de enrutamiento es como sigue:

- Enrutamiento local
- Enrutamiento estático
- Enrutamiento PNNI

Por lo tanto en el caso de Address4, el enrutamiento estático podría tener precedencia. En el caso de Address5, el enrutamiento local podría tener precedencia. En algunos casos, no se permite a la misma dirección ingresada tener, tanto un enrutamiento estático como un enrutamiento local.

#### **4.1.2. Enrutamiento para un subscriptor local**

El estado operacional de un subscriptor debe ser alto para los SVC de las llamadas de partida agregadas, para ser seguidas por el subscriptor del conmutador agregado. Por ejemplo, se identifican los subscriptores por medio del prefijo de las direcciones de un sistema terminal ATM (estos no contienen el ESI), se debe completar el registro de direcciones del ILMI antes de agregar las llamadas de partidas que son encaminadas por sí mismas. Por lo tanto, si el enlace del ILMI hacia el subscriptor falla, o las direcciones de los subscriptores vienen de ser registradas, entonces el estado operacional de los subscriptores es bajo y nuevamente las llamadas agregadas no pueden pasar a ser abonadas.

Cuando se enruta una llamada sobre un SVC, hacia a un subscriptor local, el cual especifica un grupo troncal como su locación, el SVC toma en cuenta los siguientes pasos:

- Agrupa las direcciones llamadas para ser ordenadas en un subscriptor y localizar el grupo troncal saliente.

- Selecciona una partición del ancho de banda, dependiendo del tipo de conexión requerida ya sean SVC o SPVC, que soporte los requerimientos de las diferentes categorías del servicio.
- Selecciona los VPI salientes o los VPI/VCI solamente para sistemas asignados.

Cuando se enruta hacia un suscriptor local basado sobre un sistema terminal de direcciones ATM, el enrutamiento ignora el byte selector del número de la llamada establecida. El byte selector distingue los puntos de conexión dentro de un sistema terminal ATM, éstos no pueden ser distinguidos en otros sistemas terminales ATM.

Al momento de enrutar una llamada a través de un SVC hacia un suscriptor local, el mismo puede fallar por las siguientes razones:

- El número de la llamada de partida representa un suscriptor local que no tiene un estado operacional activado.
- No hay una partición del ancho de banda para el grupo troncal, que pueda soportar la conexión punto a punto y la categoría del servicio de los requerimientos del tipo de conexión.
- La llamada no puede ser admitida debido al CAC en cualquiera de las particiones validas de todos los TGs que van hacia el suscriptor.

En todos los casos la llamada es liberada de regreso hasta la llamada inicial.

Similarmente, cuando se enruta una llamada de partida hasta un suscriptor local puede existir una falla debido a las siguientes razones:

- El número de la llamada de partida representa un suscriptor local que no tiene un estado de operación establecido o activado.

- La parte nueva de la conexión es requerida pero no puede ser admitida debido al CAC en el grupo troncal saliente.
- La parte nueva de la conexión es requerida pero el grupo troncal saliente no es un puerto, el cual ya tiene una parte punto a punto para esta llamada.

## **4.2. Enrutamiento estático**

Aquí se permite que la configuración manual de las tablas de enrutamiento, pueda ser usada para enrutar a través de los SVC llamados, los mensajes iniciales de las llamadas para así establecer una conmutación virtual para una conexión de un circuito o una trayectoria. La configuración para el enrutamiento de los SVC estáticos, comprende la creación manualmente de tablas de enrutamiento para cada conmutador en la red. Una ruta estática puede ser configurada para llevar directamente una llamada sobre un NNI ya sea con un IISP o con AINI.

### **4.2.1. Terminología en el enrutamiento estático**

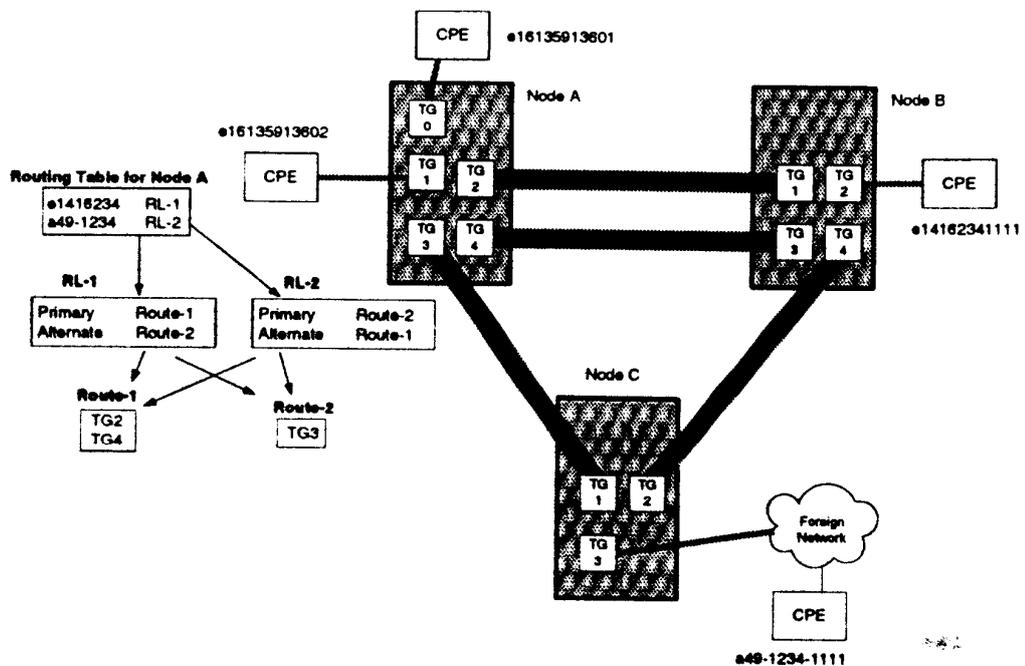
La tabla para enrutar contiene unos ingresos que son asociados con direcciones o con prefijos de direcciones, que contienen la información acerca de la próxima ruta a seguir para un destino en particular. La terminología siguiente es importante para explicar de cierto modo, como funciona la conmutación estática.

- Ruta: se refiere a un grupo de uno o más grupos troncales paralelos que lógicamente están asociados de un nodo hacia otro nodo.
- Lista de ruta: se refiere a una agrupación con dos o más rutas. Una es designada como la ruta primaria y la otra es llamada ruta alterna. Una lista de ruta establece como alcanzar otro nodo en la red. Las listas de ruta pueden ser usadas para más de una dirección destino o prefijo de direcciones.

- Ruta primaria: identifica una lista de grupos troncales, alguno de los cuales puede ser usado como la próxima vía de tránsito en la conexión. Todos los grupos troncales en la ruta primaria podrían ser paralelos, esto quiere decir que todos los grupos terminan en el mismo nodo.
- Ruta alterna: identifica una lista de grupos troncales, donde todos podrían ser paralelos. Las rutas alternas son usadas cuando la ruta primaria no está disponible o está bloqueada, comúnmente el uso de rutas alternas es opcional.

La figura 37 muestra a tres nodos en una red con los mismos suscriptores agregados. La tabla de conmutación estática para el nodo A es ilustrada adjuntamente, la cual muestra los ingresos para los dos suscriptores agregados hacia el nodo B y C.

Figura 37. Ejemplo de enrutar SVC



Fuente: Alcatel. *Routing and Addressing*. p. 30.

#### 4.2.2. Configuración del enrutamiento estático

La conmutación mediante SVC es configurada por un nodo de la siguiente manera.

- Se agrupan todos los grupos troncales paralelos NNI dentro de una ruta. Dicha ruta es creada para cada nodo SVC adyacente.
- Para cada nodo en la red, se debe determinar una ruta primaria y una ruta alterna que pueda ser alcanzable por todas las direcciones que existan en cualquier otro nodo de la red.
- Si una lista de ruta no contiene rutas primaria y alterna para el próximo tránsito, entonces se crea una lista de ruta que indique las rutas entre el nuevo nodo y cada uno de los otros nodos en la red.
- Para cada dirección o prefijo de dirección alcanzable, se crean entradas en una tabla de conmutación, enlazando las direcciones de la lista de rutas necesitada y el nodo destino.

Un ingreso en la tabla de conmutación podría ser un prefijo direccional que represente todas las direcciones, iniciando con ese prefijo. Los prefijos de direcciones son usados en las tablas de conmutación estática, para simplificar y conservar espacio en la tabla de conmutación. Los ingresos a la tabla de conmutación son direcciones o prefijo de direcciones que representan suscriptores alcanzables conectados hacia otros nodos en la red. A continuación se muestran unos ejemplos de prefijos de direcciones.

- e1-613-591 (prefijo direccional), representa al (E.164) las direcciones con cualquier otra extensión, por ejemplo, las siguientes direcciones:
  - e1-613-591-3
  - e1-613-591-36
  - e1-613-591-3600

- x30301234 (prefijo direccional), representa al (X.121) las direcciones con cualquier otra extensión, por ejemplo, las siguientes direcciones:
  - x30301234-1
  - x30301234-12
  - x30301234-5678
  
- a47-0047-0102030405 (prefijo direccional), representa al (AESA, direcciones en el sistema terminal ATM) las direcciones con cualquier otra extensión, por ejemplo, las siguientes direcciones:
  - a47-0047-010203040599999999:aa:bb:cc:dd:ee:ff
  - a47-0047-010203040506070809:ab:cd:ef:01:02:03

Una ruta ausente puede ser configurada por asignación de un prefijo direccional especial, que siempre asocia una dirección ya utilizada, como un último recurso, y cuyo número de dirección no se asocia con cualquier otro ingreso en la tabla de conmutación. Tres prefijos pueden ser usados en ausencia de alguna ruta:

- ‘e’ (prefijo direccional) representa la ruta ausente para todas las direcciones originadas y no asociadas E.164.
- ‘x’ (prefijo direccional) representa la ruta ausente para todas las direcciones originadas y no asociadas X.121.
- ‘a’ (prefijo direccional) representa la ruta ausente para todas las direcciones originadas y no asociadas AESA. Cuando ‘a’ y ‘e’ están presentes al mismo tiempo en la tabla de conmutación y una dirección establecida de AESA AFI 45 no está asociada, entonces la ruta ausente ‘e’ tiene prioridad sobre la ruta ausente ‘a’.

Cada ingreso en la tabla de conmutación tiene internamente asignado un ancho administrativo de 0. El ancho administrativo es usado por el proceso de enrutamiento, para determinar el costo de un ingreso en una tabla de conmutación en particular. Como 0 es el costo mínimo posible, el ingreso a la tabla de conmutación siempre tomará prioridad sobre el ingreso a la tabla de conmutación dinámica PNNI.

#### **4.2.3. Conmutación para un destino remoto**

Cuando se conmuta una llamada mediante un SVC punto a punto o la llamada de partida a un grupo en un SVC punto multipunto hacia un destino remoto, la tabla de conmutación es consultada para buscar el ingreso con la longitud más precisa contiguamente, agregando también el número del grupo de las llamadas señaladas. Si ni una llamada es encontrada, la llamada es rechazada de regreso al punto de partida inicial. Si un ingreso es encontrado, entonces la lista de ruta asociada es usada para determinar el próximo tránsito de información.

Cada lista de ruta contiene al menos dos rutas. Una ruta es designada como la ruta primaria, y la otra es la ruta alterna. La ruta primaria es siempre usada primero cuando tentativamente se llama a una ruta o se agrega un grupo. Un grupo troncal es seleccionado de la ruta primaria como se describió anteriormente. La ruta alterna es usada para realizar la llamada si y solo si, una de las siguientes condiciones es cumplida.

- El SVC llamado establece y agrega un grupo de mensajes que no pueden ser realizados sobre cualquier grupo troncal dentro de la ruta primaria.
- Después de haber sido realizada fuera de la ruta primaria la llamada, se establece y agrega un grupo que es manipulado de regreso hasta dicho nodo.

Si la llamada establece y agrega un grupo de mensajes que no pueden continuar dentro de algunas rutas o lista de rutas, los procedimientos de manipulación regresiva son utilizados.

En la selección del grupo troncal a usar para llevar el mensaje principal de la llamada para un P2P SVC, el grupo troncal para el cual este sistema es el asignado, es siempre usado de primero. Solamente si la llamada no puede ser admitida en alguno de esos grupos troncales es una no asignación del grupo troncal seleccionado.

En la selección del grupo troncal a usar para llevar el mensaje de la llamada de partida agregada P2MP, el grupo troncal más próximo a terminar la llamada es seleccionado. Si tal grupo troncal existe, puede llegar a ser el grupo troncal preferido. Si tal grupo troncal no existe, la selección del grupo troncal es igual como se realiza para un mensaje establecido de llamada hacia un P2P SVC.

Un grupo troncal dentro de la ruta seleccionada debe satisfacer las siguientes condiciones operacionales antes de ser seleccionadas para portar la llamada mediante un SVC:

- El grupo troncal y por consiguiente su puerto, deben tener un estado operacional de activado o *up*. Si el puerto está deshabilitado o en un circuito cerrado, entonces no puede ser usado por los nuevos SVCs.
- El grupo troncal controlado mediante el señalamiento del enlace, tiene un estado operacional de activado o *up*.
- CAC admite las llamadas para el grupo troncal y hay recursos disponibles, como por ejemplo, categorías de servicio, ancho de banda, VPI/VCI.
- Si el grupo troncal está siendo considerado por un grupo agregado en una llamada punto multipunto, estos puertos no deben ser usados para las mismas llamadas.

La tercera y cuarta condición son usualmente las más significativas para un grupo troncal a donde este sistema sea el asignado. Entre los grupos troncales disponibles que tienen igual precedencia, el grupo troncal preferido es el determinado a ser usado alrededor de un algoritmo.

Sobre la detención de una falla en el enlace físico por el conmutador, el enrutamiento mediante SVC sobre el grupo troncal es indiferente hacia el estado de señalamiento del enlace controlado mediante el grupo troncal.

Entre los grupos troncales para los cuales estos son los sistemas asignados, el sistema seleccionado para transportar la llamada es determinado usando un algoritmo, y los recursos para la llamada son reservados. Si la llamada no puede ser realizada sobre algún grupo troncal para el cual este sistema ha sido asignado, entonces un grupo troncal para el cual este sistema no ha sido asignado es seleccionado como se describió anteriormente. Estos llevan el grupo troncal preferido que porta la llamada. No todos los recursos son reservados para estos tiempos siendo la selección final de VPI/VCI o VPI responsabilidad del sistema remoto asignado. Los recursos locales son reservados cuando el sistema remoto notifica al sistema local de un VPI/VCI o un VPI para ser usado por la llamada. Una vez que el grupo troncal saliente es seleccionado, la llamada es realizada fuera del enlace señalado.

### **4.3. Manipulación de las fallas**

La manipulación de una falla en la ruta es invocada en un nodo cuando éste determina que la llamada establecida o grupo agregado no puede continuar de ese nodo hacia el siguiente.

El enrutamiento de una llamada mediante un SVC determinado hacia un destino remoto por intermedio de un conmutador puede fallar debido a las siguientes razones.

- No existe el ingreso en la tabla de enrutamiento de esos grupos de números llamados.
- Un ingreso en una tabla de enrutamiento agrupa los números convocados existentes, pero aquí son insuficientes los recursos locales disponibles para continuar la llamada. Las razones de los recursos insuficientes son:
  - Todos los grupos troncales en la lista de ruta seleccionada tienen un estado operacional bajo o desactivado.
  - Todos los enlaces señalados manejados mediante los recursos de la lista de ruta tienen un estado operacional bajo o desactivado.
  - Las particiones del ancho de banda de los grupos troncales no soportan la conexión punto-punto y la categoría de servicio requerida por el tipo de conexión.
  - La llamada no puede ser admitida debido al CAC.
- Un lazo en un SVC es detectado.

En el primer caso la llamada es liberada de regreso hasta la llamada de partida. En el segundo y tercer caso, la llamada es manipulada de regreso hasta el nodo anterior. Si la llamada no puede ser manipulada de regreso, entonces es liberada regresando hasta la llamada de partida.

Similarmente, para una llamada punto-multipunto, la conmutación de un grupo agregado de mensajes hacia un suscriptor remoto por intermedio de un conmutador puede fallar debido a las siguientes razones.

- No existe el ingreso en la tabla de enrutamiento de esos grupos de números llamados.
- Un ingreso en la tabla de enrutamiento agrupa los números convocados existentes, pero:

- un grupo troncal no podría ser establecido si el mismo tuvo característica de punto a punto sobre la llamada o,
  - un grupo troncal no podría ser establecido si el mismo estaba en un puerto el cual no tenía una característica de punto a punto sobre la llamada.
- Un ingreso en una tabla de enrutamiento agrupa los números convocados existentes, pero aquí son insuficientes los recursos locales disponibles para continuar la llamada. Las razones de los recursos insuficientes son:
    - Todos los grupos troncales en la lista de ruta seleccionada tienen un estado operacional bajo o desactivado.
    - Todos los enlaces señalados manejados mediante los recursos de la lista de ruta tienen un estado operacional bajo o desactivado.
    - La nueva conexión es requerida pero no puede ser admitida debido al CAC en todos los grupos troncales de la lista de ruta seleccionada.
    - Un lazo en un SVC es detectado.

En el primer caso el grupo agregado es rechazado de regreso hacia la llamada de partida. En el segundo, tercero y cuarto caso, el grupo agregado es manipulado de regreso hasta el nodo anterior. Si la llamada no puede ser manipulada de regreso, entonces es liberada regresando hasta la llamada de partida.

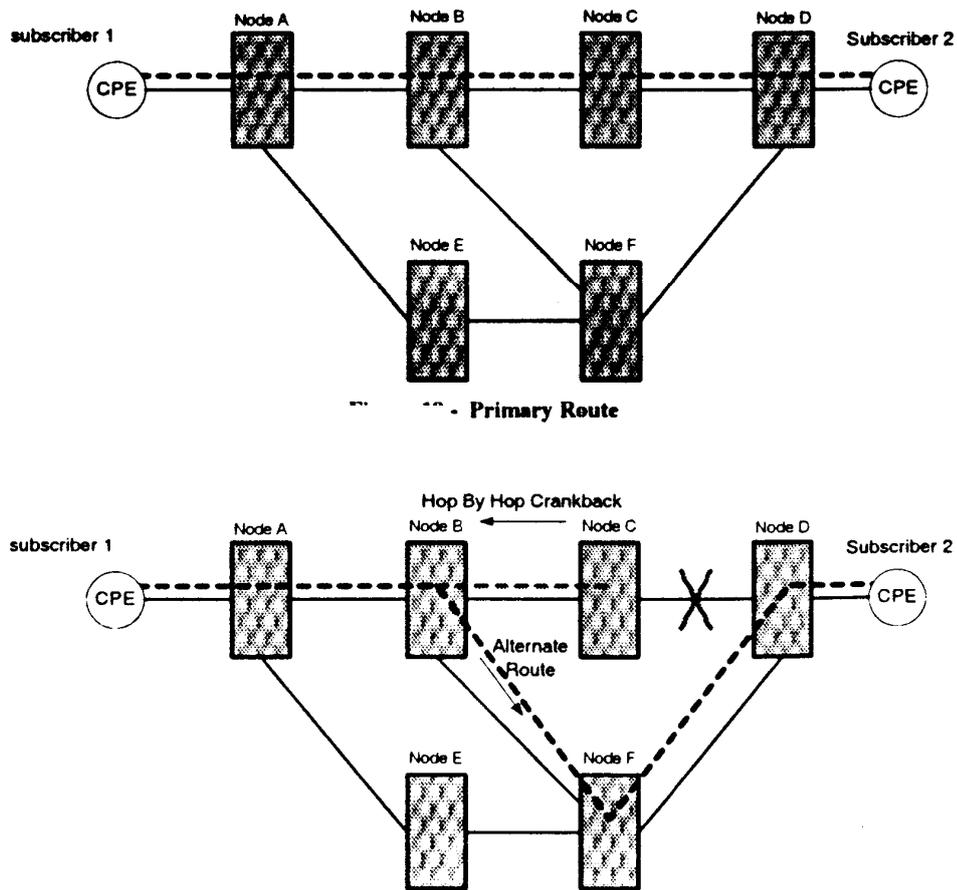
La manipulación regresiva es usada para realizar una llamada en un progreso regresivo hacia un nodo previo en la llamada establecida de la trayectoria para probar una ruta alterna hacia aquel punto. La manipulación regresiva permite la recuperación de las llamadas establecidas y grupos agregados que fallan debido a la congestión, a una falla en el enlace o a un lazo en un SVC. La manipulación regresiva salto por salto es una característica propiamente de algunos conmutadores y como tal no está disponible en conexiones de nodos que no poseen dichos conmutadores.

Se puede observar que la manipulación regresiva salto por salto no es igual que una manipulación regresiva PNNI la cual se describirá en el siguiente capítulo.

Cuando un nodo no puede continuar una llamada o grupo agregado a lo largo de su trayectoria configurada, entonces se envía un mensaje ya sea de una llamada liberada o grupo agregado rechazado hacia el nodo anterior el cual incluye el elemento de información de la manipulación regresiva en el mensaje indicado. Los destinos mediante la manipulación regresiva tienen un almacenamiento de las rutas y listas de rutas usadas para permitir a éste establecer el mensaje. Sobre la recepción de la manipulación regresiva, se sabe que las rutas que se cambian no pueden ser usadas para establecer estos mensajes. Por consiguiente es posible cambiar a la ruta alterna de la lista de ruta para continuar la llamada de partida agregada.

Si no hay ruta alterna para el cambio en la lista de ruta, entonces la llamada establecida o agregada es manipulada regresivamente un salto hacia atrás. Si la manipulación regresiva alcanza al nodo original y la ruta alterna no puede ser establecida, entonces la llamada o grupo de llamadas es liberada de regreso hasta la llamada de partida. En la figura 38 se muestra el proceso de manipulación regresiva salto por salto en el caso que un enlace llegara a fallar.

Figura 38. Manipulación regresiva salto por salto



Fuente: Alcatel. *Routing and Addressing*. p. 36.

#### 4.3.1. Detención de un lazo cerrado

Un lazo cerrado en un SVC puede ocurrir debido a un error en la configuración al momento de enrutar o también, debido al uso de una ruta alterna cuando ocurre una falla.

Un lazo cerrado en un SVC es detectado de dos maneras.

- La conmutación en un nodo determinado, puede ser seleccionada como una ruta saliente, cuando en realidad se trata de la ruta sobre la cual la llamada estaba siendo recibida, es decir una ruta de ingreso.
- La aplicación del proceso de llamada detecta esto si previamente a sido tomado en cuenta dentro de estos estatutos y por ende la llamada tiene un lazo regresivo.

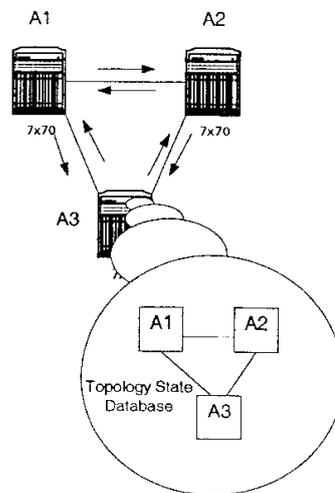
En el primer caso, la llamada no puede continuar, más bien la próxima ruta alterna disponible es usada en su lugar. Si no hay ruta alterna disponible, entonces la llamada es manipulada de regreso hasta el nodo anterior. Un lazo en un SVC para el segundo caso es detectado mediante el uso de una propiedad conocida como IE (elemento de información de la lista de tránsito), en el señalamiento de mensajes. Sobre la detección de lazo en un SVC, el nodo en el que a sido detectado el lazo cerrado manipula las llamadas establecidas de regreso hasta el nodo anterior, para permitir que la conmutación ocurra.



## 5. CONMUTACIÓN DINÁMICA EN REDES ATM

Las especificaciones del PNNI son definidas tanto para un protocolo de señalamiento como para un protocolo de enrutamiento. El protocolo de enrutamiento PNNI es usado para distribuir la información acerca de los cambios en la topología de la red, realizando esto mediante un grupo de conmutadores asociados. Para obtener esta información, las tablas de enrutamiento para SVC son creadas, y usadas por los conmutadores para enrutar las llamadas para los SVC, SPVC o SPVP. En la figura 39 se muestra la forma como se ejecuta el protocolo PNNI.

**Figura 39. Enrutamiento dinámico PNNI**



**Fuente:** *Routing and Addressing on the Alcatel*. p. 38.

### 5.1. Terminología PNNI

- PNNI: (*Private Network to Network Interface*). El ATM *forum* ha especificado al PNNI, como un protocolo tanto para señalización como también para enrutamiento.
- PNNI RCC: (*PNNI Routing Control Channel*). Es el VCC usado por los nodos PNNI, para intercambiar paquetes enrutados PNNI con otros nodos.
- Enlace PNNI: es sinónimo con (PNNI) RCC. Es el término usado para RCC cuando se está usando un NMTL.
- Nodo PNNI: se refiere, por ejemplo, cuando el PNNI en una red determinada está siendo usado ya sea como protocolo de enrutamiento PNNI o como de señalamiento.
- Identificación de grupos pares PNNI: se refiere a la indicación de un grupo de nodos PNNI.
- Grupos pares PNNI: indican una agrupación de nodos PNNI con iguales grupos de identificadores PNNI.
- Dominio PNNI: es sinónimo con el PNNI *Peer Group*, cuando solamente son tres los niveles de jerarquía. Con la jerarquía PNNI, el dominio PNNI (PNNI Domain), indica todos los grupos pares que se están ejecutando mediante el enrutamiento PNNI en la jerarquía PNNI.
- Enrutamiento PNNI QoS: se refiere a las características descritas en anteriores capítulos y que son utilizadas para balancear la carga en la red.

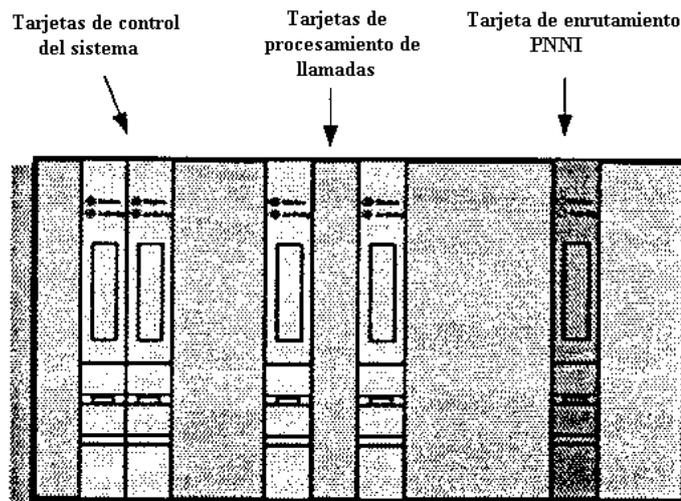
### 5.2. Tarjetas de enrutamiento PNNI

Las tarjetas de enrutamiento PNNI son las responsables para la ejecución de las aplicaciones del protocolo de enrutamiento PNNI, las cuales están basadas en los ingresos a las tablas de enrutamiento PNNI.

Las entradas a la tabla de enrutamiento son descargadas mediante la tarjeta de procesamiento de llamada la cual se encarga de dirigir o manipular el actual enrutamiento de un mensaje establecido de llamada a un SVC.

Como se muestra en la figura 40, un nodo requiere una tarjeta de enrutamiento PNNI o una tarjeta de control integrado, para poder soportar el enrutamiento dinámico PNNI. Debido a la existencia de redundancia, una segunda tarjeta de enrutamiento PNNI es necesitada. Las dos tarjetas pueden estar sobre el mismo estante, sólo que deben estar separadas en posiciones adyacentes y deben iniciar con la ranura libre.

**Figura 40. Tarjeta de enrutamiento PNNI**

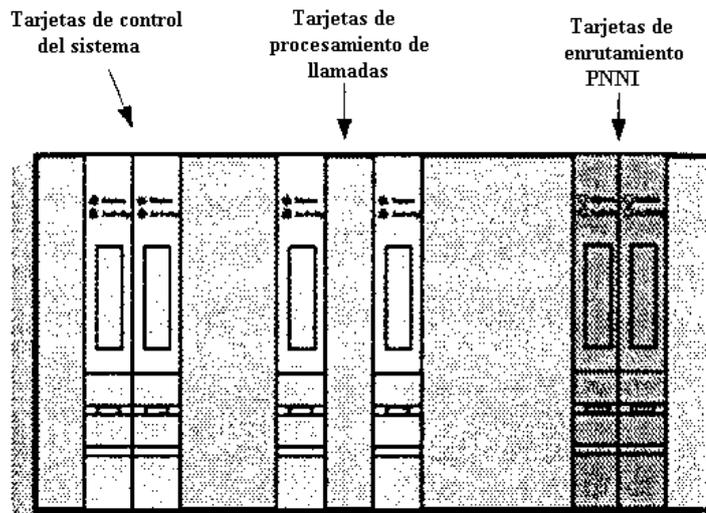


**Fuente:** *Routing and Addressing on the Alcatel*. p. 40.

En caso de que una tarjeta PNNI fallara, una segunda tarjeta PNNI libre estará disponible para ejecutar el enrutamiento PNNI. El modelo de redundancia es un modelo de redundancia caliente, el cual mediante dicho PNNI sobre las tarjetas de redundancia debe redescubrir los enlaces para los nodos vecinos y reconstruir el estado de esos enlaces en una base de datos para poder dar inicio.

Lo anterior describe la redundancia en PNNI, la cual está basada sobre un mecanismo económico de 1 a 1, como se puede observar en la figura 41.

**Figura 41. 1+1 Redundancia caliente sobre las tarjetas de enrutamiento PNNI**

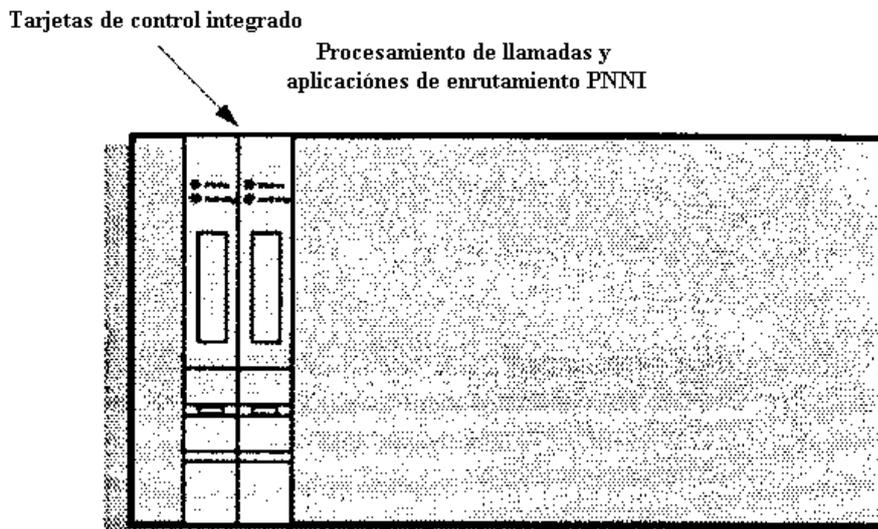


**Fuente:** *Routing and Addressing on the Alcatel*. p. 40.

Las llamadas en los SVC existentes no son afectadas por los procesos de conmutación de las tarjetas PNNI. Si nuevos SVCs existentes son establecidos durante las actividades de conmutación, estos son enrutados usando la tabla de enrutamiento PNNI existente que tiene que descargar los procesamientos de llamadas para las tarjetas antes de la falla. Después de una conmutación redundante, el software del PNNI suprime los cambios para la tabla de enrutamiento de los SVC en el proceso de llamada de tarjeta hasta que la red sea suficientemente reconocida en un tiempo límite de umbral aprobado. Esta supresión de la tabla de enrutamiento es realizada con cuidado para lograr el menor rompimiento posible en las tablas de enrutamiento existentes en las tarjetas para los SVC ya que probablemente estas tarjetas PNNI sean nuevamente activadas después de recalcular las tablas de enrutamiento, éstas pueden ser iguales a las tablas de las tarjetas PNNI activadas anteriormente.

Las aplicaciones de enrutamiento PNNI pueden también ser ejecutadas en un modo integrado como se muestra en la figura 42. Esta configuración permite que tanto el proceso de llamada como las aplicaciones de enrutamiento puedan ser ejecutadas en una tarjeta de control integrado. Esta configuración no tiene un modo de ejecución o configuración limitado en cuanto a las aplicaciones de enrutamiento PNNI respectivas.

**Figura 42. Enrutamiento PNNI con tarjeta de control integrado**



**Fuente:** *Routing and Addressing on the Alcatel*. p. 42.

### 5.3. Protocolo de enrutamiento PNNI

El protocolo de enrutamiento PNNI está basado en los principios de los estados de los enlaces en el enrutamiento. Cada conmutador anuncia la información a sus vecinos acerca de los que depende directamente en el grupo troncal. Entre la información anunciada para un grupo troncal están los grupos troncales administrativos del costo y del ancho de banda disponible.

Cada conmutador usa la información recogida de sus vecinos para crear una base de datos del estado de la topología (*topology state database*), con base en la topología y los recursos de la red. Esta información cambia dinámicamente en una red y por lo tanto el protocolo de enrutamiento PNNI está constantemente siguiendo el estado corriente de la topología de la red y almacenando esto en su base de datos.

Cada uno de los conmutadores adquiere una base de datos de la topología de la red representando una vista instantánea de la red, esta base de datos es usada por el conmutador para calcular las tablas de enrutamiento las cuales son usadas para conducir las llamadas en los SVC hacia sus destinos. Las tablas de enrutamiento consisten de fuente y trayectorias enrutadas en la forma de una lista de tránsito designada (DTL), las cuales son usadas para llevar las llamadas hacia sus destinos finales. Las trayectorias de selección no son estandarizadas por los protocolos PNNI y proporcionan una oportunidad para diferenciar un vendedor.

La información en la base de datos de la topología PNNI es solamente usada para generar trayectorias alternas hacia un destino determinado, en caso de que la trayectoria preferida o escogida no puede transportar la llamada. El protocolo de enrutamiento PNNI no solamente informa de la topología de la red, sino que también informa acerca de las direcciones ATM alcanzables para cada nodo. Estas direcciones ATM pueden ser:

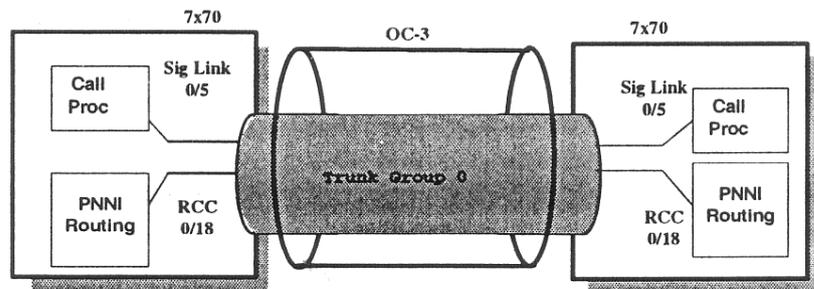
- Sumario de direcciones PNNI o prefijos de direcciones de suscriptores locales para un nodo dentro de el dominio PNNI.
- Direcciones exteriores alcanzables PNNI o prefijos de direcciones, las cuales están fuera del dominio PNNI pero pueden ser alcanzables para ser admitidas dentro de ese dominio PNNI.
- Direcciones desechadas ILMI.

Los mensajes de indicación PNNI son cambiados sobre un canal de control de ruta separado por el grupo troncal. PNNI descubre dinámicamente qué nodos están lejanamente de cada PNNI RCC. Esta información, junto con el costo administrativo, está anunciada para el resto de la red y usada por otros nodos para la construcción de las trayectorias de la red para enrutar SVCs.

#### 5.4. Canal de control de enrutamiento PNNI

Un canal de control de enrutamiento (*routing control channel*) es usado para cambiar solamente la información del enrutamiento y no la señalización del canal. En la figura 43 se muestra exactamente un enlace de señalización PNNI y un canal de control de enrutamiento (RCC) para cada grupo troncal.

**Figura 43. Grupo troncal con enlace de señalización y canal de control de enrutamiento**



**Fuente:** *Routing and Addressing on the Alcatel*. p. 44.

El PNNI RCC es típicamente un VCI 18 y el enlace de señalización PNNI es puesto en funcionamiento en un canal separado en un VCI 5. Aunque el VCI predeterminado es el VCI 18, el cual es recomendado por el ATM *forum*, el mismo puede ser modificado si fuese necesario junto con los parámetros de tráfico predeterminados.

#### **5.4.1. Enlace enrutable PNNI**

Los grupos troncales son anunciados por todas partes solamente si la red PNNI de ellos es enrutable. El modo de dirección de un grupo troncal es determinado por el estado del grupo troncal, el estado de señalización del enlace y el estado del canal de control del enrutamiento, los cuales deben mantener un estado de *up* o activado para que un grupo troncal pueda ser enrutable y anunciado por todas partes de la red PNNI.

#### **5.4.2. Administración del costo**

La administración del costo es configurada por el administrador de la red para cada enlace PNNI que sea anunciado en el resto de la red. Los parámetros están asignados al nivel del grupo troncal para propósitos de enrutamiento PNNI solamente. Este es un parámetro que es usado para calcular la trayectoria para las direcciones ingresadas del tipo PNNI en la tabla de enrutamiento.

#### **5.4.3. Descriptores de tráfico del enlace PNNI**

El tráfico sobre PNNI RCC está desarrollado por el descriptor de tráfico programado. Todas las categorías de servicio excepto ABR son soportadas. Los descriptores de tráfico son predeterminados en ausencia de los valores personalizados. Los parámetros de tráfico predeterminados debido a la ausencia de los personalizados se muestra a continuación.

Categoría de servicio:	Taza de bit variable.
Taza de células pico:	Células de menor prioridad tienen valor de 0 y valor pico de 1; 385 Kb/s. Esta representa una taza de 906 células/segundo.

Taza de células sostenible:	Células de menor prioridad tienen valor de 0 y valor pico de 1; 193 Kb/s. Esta representa una taza de 453 células/segundo.
Tamaño máximo de estallido:	171 células.

### **5.5. Parámetros de los nodos PNNI**

Un nodo PNNI requiere información acerca de su propia identidad y su relación hacia otros nodos en su mismo grupo. Los siguientes parámetros de los nodos PNNI están disponibles.

- Prefijo de dirección ATM para nodo PNNI.
- Dirección ATM para nodo PNNI.
- Nivel del nodo PNNI.
- Identificador de pares de grupos PNNI.
- Identificador de nodo PNNI.

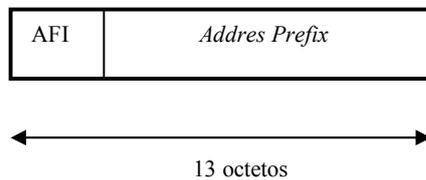
De los parámetros anteriores, solamente el prefijo de dirección ATM para nodo PNNI y el nivel del nodo PNNI son configurados por el administrador, los otros parámetros siguientes pueden ser calculados automáticamente mediante esos dos parámetros.

#### **5.5.1. Prefijo de dirección ATM para nodo PNNI**

El prefijo de dirección ATM para nodo PNNI está compuesto por 26 dígitos hexadecimales. Este prefijo es un número único derivado de un prefijo AESA apropiado por el administrador. El mismo es escogido a discreción del administrador, de tal manera que es único en el dominio del enrutamiento.

El prefijo de dirección ATM para un nodo PNNI estará configurado por el administrador, después los valores no pueden ser asumidos o predeterminados. Un prefijo de dirección escogido para un nodo PNNI debe ser único, para que pueda ser tomada en cuenta la escalabilidad del desarrollo actual y futuro de la red. En la figura 44 se muestra la forma de un prefijo de dirección.

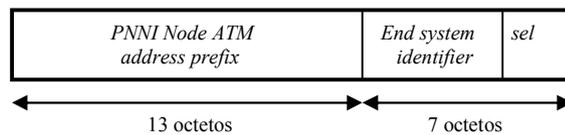
**Figura 44. Prefijo de dirección ATM para nodo PNNI**



### 5.5.2. Dirección ATM para nodo PNNI

La dirección ATM para un nodo PNNI es la dirección ATM de 20 octetos derivada de la configuración del prefijo de dirección ATM para un nodo PNNI. Este número es usado cuando la jerarquía PNNI es implementada. La dirección ATM para un nodo PNNI está compuesta de un prefijo de dirección ATM para un nodo PNNI y un identificador del sistema terminal. En la figura 45 se observa la forma de una dirección ATM.

**Figura 45. Dirección ATM para nodo PNNI**



### 5.5.3. Nivel del nodo PNNI

El nivel del nodo PNNI es el nivel del nodo en la jerarquía. El nivel del nodo es el número de bits disponibles o válidos del prefijo de dirección ATM para un nodo PNNI, usado para crear la identificación por grupo y es incluido en la identificación del nodo PNNI.

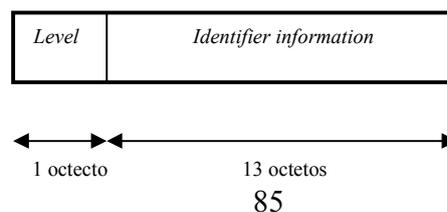
Todos los nodos en grupos pares poseen el mismo nivel. El valor del número de nivel más bajo así como el más alto, está en la jerarquía PNNI. El nivel del nodo PNNI está configurado por el operador de la red.

Valor predeterminado: 96  
Valores válidos: 1 a 104

### 5.5.4. Identificador de grupos pares PNNI

El identificador de grupos pares PNNI es una cadena de 14 bytes, la cual únicamente identifica un grupo lógico de nodos PNNI. La identificación de grupos pares PNNI es realizada sobre el nivel del nodo PNNI y el prefijo de dirección ATM para el nodo PNNI. El nivel del nodo es expresado como un número hexadecimal, dependiente del frente de la identificación del grupo y de la máscara del bit de todos los indicados, los cuales están fuera del prefijo direccional ATM PNNI que se está utilizando. En la figura 46 se observa una forma de identificación por grupo.

**Figura 46. Identificador de grupos pares PNNI**



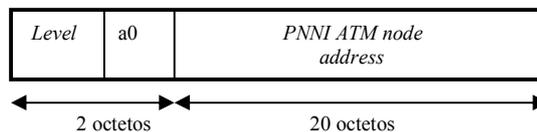
La información del identificador es una cadena de bits entre 0 y 104 bits equivalente a 13 octetos en tamaño. Los identificadores de grupos pares son prefijos de direcciones de sistemas terminales ATM tal que la organización que administra los pares de grupos tiene asignada cierta autoridad sobre estos prefijos. Por ejemplo, si una organización está dando un prefijo de n-bits éste puede ser asignado a un identificador de pares de grupos con un tamaño n o mayor, pero no menor que n.

Los identificadores de pares de grupos son codificados usando 14 octetos; 1 octeto indica el nivel seguido por 13 octetos de información del identificador. El valor del indicador del nivel puede estar entre 0 y 104 bits. El valor enviado en el identificador de la información del campo puede ser codificado con  $104 - n$  bits hasta cero, donde n es el nivel.

#### 5.5.5. Identificador del nodo PNNI

La identificación de un nodo PNNI es usada para identificar únicamente cada nodo en el dominio PNNI. Las identificaciones de los nodos son creadas automáticamente usando el prefijo de direcciones ATM y el nivel del nodo configurado por el conmutador. En la figura 47 se muestra una identificación de nodo PNNI.

**Figura 47. Identificador del nodo PNNI**



La identificación de un nodo PNNI comprende

- El indicador del nivel, el cual especifica el nivel del nodo PNNI del par de grupo que lo contiene.
- El segundo octeto toma el valor 160. Este ayuda a que se distinga del caso de cuando la jerarquía PNNI es implementada.
- El resto del identificador del nodo contiene los 20 octetos del sistema representado por el nodo.

El identificador del nodo PNNI no cambia en las actividades de conmutación, esto es así para lograr la redundancia en las tarjetas de servicio PNNI.

#### **5.5.6. Configuración de las direcciones en nodos PNNI**

En el siguiente ejemplo se muestra el prefijo de dirección ATM PNNI y el nivel del nodo configurado en lenguaje de programación *bold*, resultando el prefijo de dirección ATM PNNI, el identificador de pares de grupos PNNI y el identificador del nodo PNNI.

PNNI ATM Address Prefix = **49-0001-00000000112233445501**

PNNI Node Level = **96**

PNNI Peer Group ID = 60-49-0001-00000000112233445500

PNNI ATM Address = 60-49-0001-00000000112233445501-40:80:21:85:03:00-00

PNNI Node ID = 60-a0-49-0001-00000000112233445501-40:80:21:85:03:00-00

#### **5.6. Sumario de direcciones PNNI**

El administrador es requerido para ingresar un lista de un sumario de direcciones PNNI representando suscriptores directamente dependiente de un nodo PNNI. Estos sumarios son anunciados dentro de el dominio del enrutamiento PNNI para ser alcanzables por algún nodo PNNI en particular.

Otros nodos usan esta información anunciada para crear sus tablas de enrutamiento para las llamadas de rutas hacia algún suscriptor que requiera el anuncio del sumario de direcciones.

Es preferible que los suscriptores en un nodo tengan direcciones, las cuales están asignadas en cada una de la vías, para que la mayoría o todos los suscriptores en un nodo pueden ser resumidos por un simple sumario de direcciones PNNI, o por lo menos por un pequeño número de sumarios de direcciones PNNI. Esto fomenta la eficiencia al momento de agregar direcciones, resultando en pocos ingresos a las tablas de enrutamiento y fácil manejo de los suscriptores. El sumario de direcciones puede solamente ser configurado en el formato AESA. Dicho sumario de direcciones no puede estar en formato natural E.164.

Por ejemplo:

- a39-0049-01020304050607

Si el prefijo del sistema tiene que ser configurado como: a47-0124-01020304-1234 y el conmutador está anunciando todas las direcciones usando este prefijo de sistema, ingresa:

- a+

Si solamente una parte del suscriptor basado en el prefijo del sistema y adicionalmente los bytes '0607', están siendo anunciados, entonces el sumario de direcciones para ingresar es:

- a+0607.

Si las direcciones natural E.164 son asignadas para suscribirse, ellas pueden ser agregadas como un sumario de direcciones PNNI como también por codificación del direccionamiento natural E.164 en direcciones AESA con un AFI de 45. Hay que recordar que cuando se agregan los números E.164, se rellenan con ceros hasta reflejar la longitud de las direcciones acompañantes.

Por ejemplo para sumar todos los 11 dígitos enumerados en natural E.164, los suscriptores están siendo seguidos con el prefijo:

- e1613-591-36

el AESA equivalente al sumario de direcciones es

- a45-0000-1613-591-36

Igualmente el prefijo de direcciones X.121 es agregado, usando para que encaje el formato AESA X.121.

Aunque cuando se agregan direcciones X.121 en el formato AESA las direcciones tendrían largos diferentes sin hacer caso de la longitud de la dirección. Por ejemplo si el prefijo de dirección es el X.121:

- 3020123456

el AESA equivalente al sumario de direcciones es:

- a37-3020123456

Los abonados, quienes no están representados por un sumario de direcciones PNNI no son alcanzables por ningún suscriptor, a menos que una apropiada información de conmutación estática fuese configurada. Sin embargo, los agregados que no están siendo representados por un sumario de direcciones PNNI pueden tranquilamente localizar una llamada, ambos son suscriptores locales y no locales.

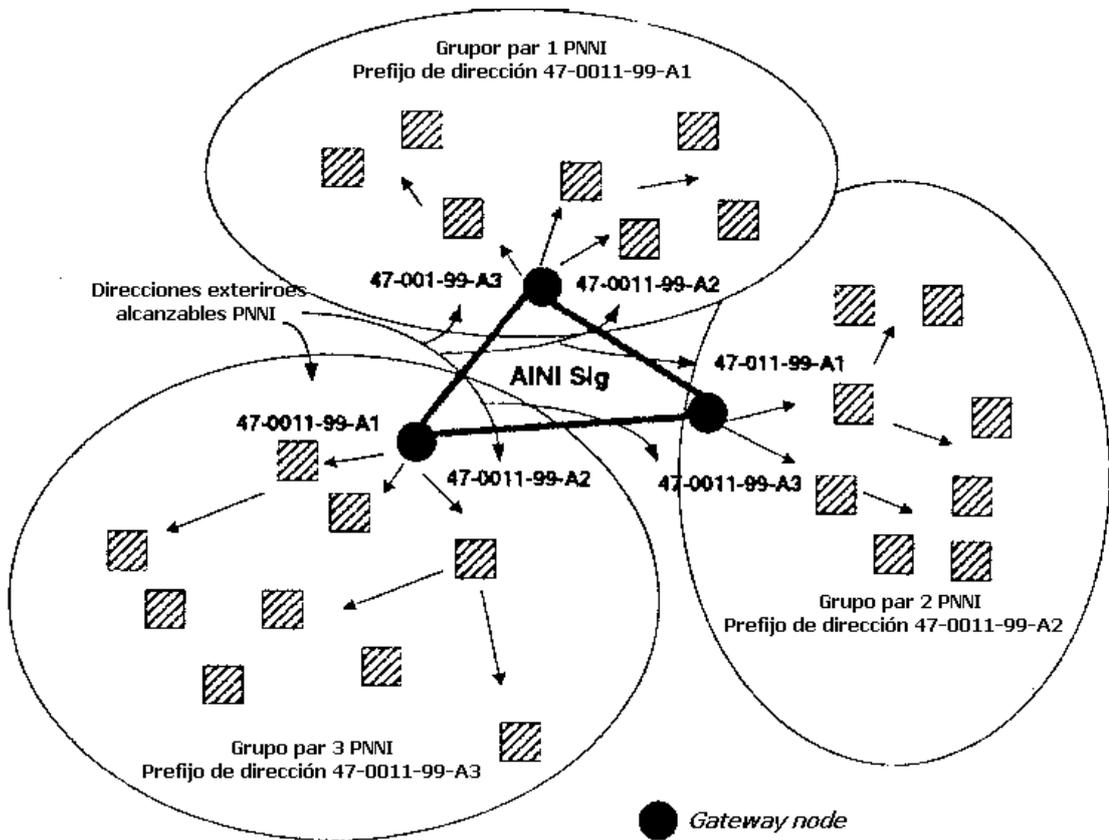
### **5.7. Direcciones exteriores alcanzables PNNI**

Las direcciones exteriores alcanzables PNNI pueden ser configuradas para habilitar los SVCs establecidos para los destinos fuera del dominio de enrutamiento PNNI, mediante la conmutación estática. Un uso importante de las direcciones alcanzables PNNI es que permiten a las redes SVC/SPVC escalar más allá de los 200 nodos máximos, dentro de poco soportados en un simple grupo par, hasta llegar a ser una jerarquía PNNI disponible. Esto es realizado por interconexión de grupos pares PNNI a través de un protocolo de enrutamiento estático parecido al AINI o IISP, y configurando las direcciones alcanzables de los otros grupos pares como las direcciones exteriores alcanzables PNNI para la interfase AINI de cada grupo par. Aquí las direcciones exteriores son anunciadas por todas partes del grupo par, tal que cada nodo en el grupo par puede ser capaz para llamar una ruta hacia aquellas direcciones exteriores alcanzables. Este mecanismo es similar para el sumario de direcciones, las cuales están anunciadas por todas las partes del grupo par, con la excepción que una dirección exterior alcanzable PNNI representa una simple ruta estática, y no un grupo de suscriptores.

Cuando ya no hay mensajes de enrutamiento o sumario de direcciones estos son anunciados a través de esta interfaz, las direcciones alcanzables en cada grupo par tienen que ser configuradas usando direcciones exteriores alcanzables PNNI para las interfaces AINI entre cada grupo par.

La entrada a los nodos de cada grupo par, anuncia aquí las direcciones exteriores alcanzables para todos los otros nodos dentro de su grupo par, permitiendo así el enrutamiento de llamadas hacia destinos fuera del lugar original del grupo par PNNI. Como podemos ver en la figura 48, los tres dominios de enrutamiento PNNI individual (o grupos pares) están interconectados usando un enlace de señalización AINI.

**Figura 48. Interconexión de grupos pares con AINI y el uso de direcciones exteriores alcanzables PNNI**



Fuente: *Routing and Addressing on the Alcatel*. p. 44.

En el ejemplo que se muestra en la figura 48, las direcciones en los grupos pares 1 y 2 tienen la necesidad de ser accedidas por parte de un tercer grupo par entrante como direcciones exteriores alcanzables PNNI para la interfaz AINI en la entrada al nodo del grupo par 3. Asimismo, la entrada a los nodos del grupo par 1 y 2 son configuradas con direcciones exteriores alcanzables PNNI de las direcciones en los otros dos grupos pares.

La tabla de enrutamiento de cada nodo en cada grupo par podría contener ingresos para las direcciones exteriores alcanzables PNNI como también un sumario de prefijos de direcciones. Las direcciones exteriores alcanzables PNNI son configuradas de igual modo que los ingresos a la tabla de enrutamiento estático pero advirtiendo que es del tipo de PNNI\_Ext. Las direcciones alcanzables exteriores son sólo configuradas con el administrador de costo así el administrador de la red puede prevenir enrutamientos si múltiples nodos tienen acceso para las mismas direcciones exteriores.

## **5.8. Establecimiento de una llamada PNNI**

Cada nodo contiene una completa visión de la topología de la red y sumario anunciado o direcciones exteriores PNNI. La mejor trayectoria es calculada para cada una de esas direcciones o prefijos anunciados. La ruta para cada llamada es determinada por la fuente y por lo tanto es llamado enrutamiento fuente.

### **5.8.1. Selección de la trayectoria y DTLs**

Usualmente aquí hay más de una trayectoria para un destino y por lo tanto las reglas tienen que estar determinadas para escoger la mejor de las trayectorias posibles. Lo siguiente es un sumario de los algoritmos que se usan para determinar una trayectoria de un enrutamiento ingresado.

- Si existe más de un nodo que anuncia el mismo prefijo direccional, la trayectoria seleccionada es la del nodo más cercano. La trayectoria más cercana al nodo es la que tiene el menor costo desde el nodo fuente. El costo de la trayectoria está comprendido por el ancho administrativo acumulativo de todos los enlaces en las trayectorias.
- Si dos nodos anuncian el mismo prefijo de dirección y tienen igual costo de trayectoria, la llamada es enrutada hacia el nodo destino con el identificador de nodo PNNI más alto.
- Si dos nodos anuncia el mismo prefijo de dirección y uno es un ruta exterior PNNI, la otra trayectoria es elegida como la mejor trayectoria posible, determinando así también la que esté en mejor estado propiamente dentro de la red antes que la llamada de la ruta se realice directamente en la otra red.

La trayectoria está comprendida de un lista de identificadores de nodos para identificar la lista o tránsito para la trayectoria hacia el destino. La lista de identificadores de nodos es usada para construir la lista de tránsito designada (DTL) en el mensaje establecido de llamada PNNI. Cada ingreso en la DTL representa un tránsito en la trayectoria. El máximo número de transitos en la DTL es 20.

### **5.8.2. Enrutando una llamada establecida**

Un nodo puede recibir un requerimiento para enrutar una llamada determinada en una de las tres vías: como un nodo que origina una DTL, como un nodo que transita DTL o como un nodo terminal DTL. Un nodo que origina una DTL es aquel que recibe un determinado grupo de mensajes y los agrega en cualquier otro enlace de señalización UNI de el sistema terminal o dispositivo no-PNNI o de un requerimiento SPVC que es recibido por el 5620 o vía NMTI. Un nodo de tránsito DTL es un nodo que recibe un mensaje de llamada sobre un enlace de señalización PNNI que ya contiene DTLs, pero donde el nodo de tránsito común no es el último del tránsito en la DTL.

Un nodo terminal DTL es el que recibe un mensaje de llamada sobre un enlace de señalización PNNI, conteniendo un DTL donde el nodo de tránsito común es el último nodo en la DTL. La llamada está destinada para una dirección local hacia dicho nodo.

#### **5.8.2.1. Nodo origen DTL**

Aquí se trata de encontrar las direcciones destinos con las entradas en la tabla de enrutamiento con base en una larga prueba. Si las entradas encontradas en la tabla de enrutamiento son de tipo PNNI, existe entonces una trayectoria primaria hacia el destino. La trayectoria primaria es determinada según el enrutamiento actual recibido de el otro nodo en la red, y es continuamente calculado y actualizado como un enrutamiento actual recibido. Hasta ahora la trayectoria primaria es la trayectoria óptima para alcanzar el destino ocasionado por la visión que tiene el PNNI de la topología de la red. Este precálculo de la trayectoria está en la forma de una DTL, la cual es insertada dentro de la llamada establecida de mensaje. El próximo tránsito en la nueva DTL es examinado y una ruta, con conocimiento de la extensión para este tránsito, es seleccionada. Allí pueden ser muchos los grupos troncales paralelos asociados con la ruta seleccionada. La selección del grupo troncal es igual que la selección descrita en el capítulo anterior, para el caso de un enrutamiento estático. Si la función de control de admisión para la conexión admite la llamada en un grupo troncal, el mensaje de la llamada establecida es entonces transmitido en el enlace señalado asociado con el grupo troncal escogido para el próximo nodo en la DTL.

#### **5.8.2.2. Nodo de tránsito DTL**

Cuando un nodo de tránsito recibe el mensaje establecido de una llamada PNNI, éste comprueba simplemente la DTL para el próximo tránsito en la trayectoria.

La DTL puede señalar cada una de las salidas específicas del grupo troncal para usar la llamada o puede indicar el nodo local que podría escoger entre algún grupo troncal principal disponible para el próximo nodo especificado en la DTL. Un grupo troncal determinado es especificado cuando la DTL contiene un puerto de identificación que no es igual a cero en el tránsito corriente. Aquí se puede soportar cualquiera de estas opciones.

- Si la DTL determina el grupo troncal específico a usar, y paralelamente la llamada es rechazada por alguna de las razones especificadas más adelante, entonces la llamada es manipulada regresivamente hasta el origen de la DTL, de otra manera la llamada es continuada hacia el próximo tránsito en la trayectoria.
- Si la DTL no determina un grupo troncal para ser usado, el nodo decide que grupo troncal usar, basado sobre el mismo criterio descrito en el capítulo anterior.

### **5.8.2.3. Nodo terminal DTL**

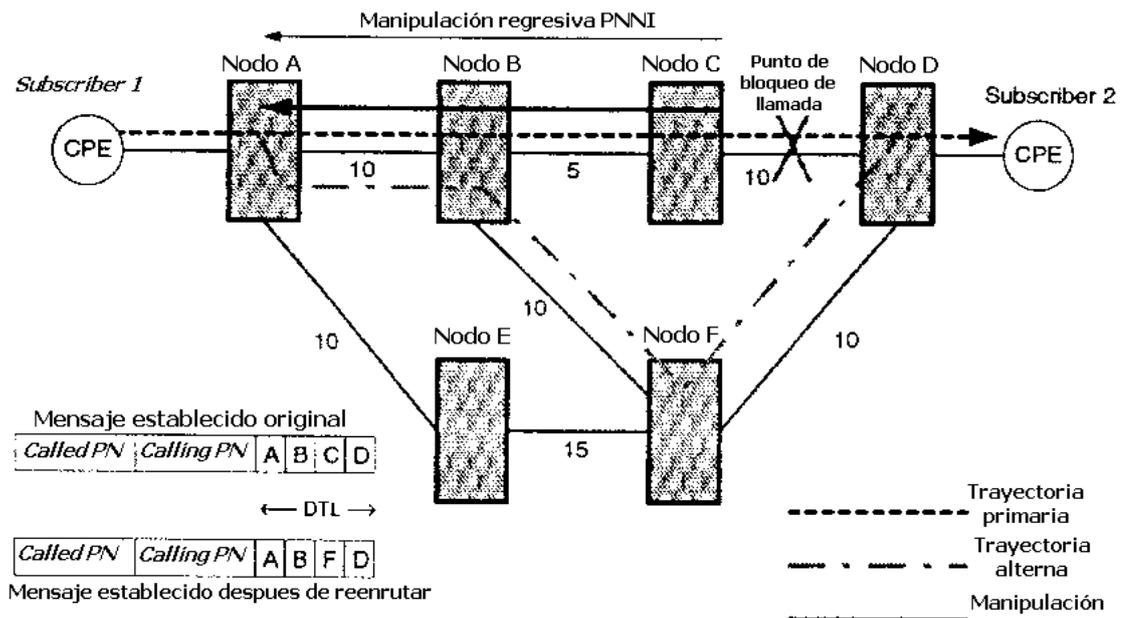
Cuando una llamada inicial establecida y agregada es recibida por el nodo terminal DTL, la DTL es apartada del mensaje establecido y la llamada es enrutada localmente.

## **5.9. Manipulación regresiva PNNI y trayectorias alternas**

La manipulación regresiva permite a las llamadas SVC ser reenrutadas alrededor de los puntos cerrados o bloqueados de la llamada en una red PNNI. Cuando una manipulación regresiva PNNI ocurre, la llamada es regresada hasta la DTL origen con suficiente información para indicar donde a sido bloqueada u obstaculizada la llamada. El nodo origen puede entonces construir una nueva DTL.

Típicamente en una red estable y bien designada, la manipulación regresiva no ocurre, entonces las llamadas serán enrutadas satisfactoriamente en el primer intento. En la figura 49 se muestra un ejemplo del mecanismo de manipulación regresiva, en donde la trayectoria primaria entre el suscriptor 1 y el suscriptor 2 es a través de los nodos A, B, C, D, entonces esta es la trayectoria de menor costo. Si el trecho CD está bloqueado, entonces el nodo A podría calcular una trayectoria alterna como un resultado de la manipulación regresiva recibida.

**Figura 49. Ejemplo de manipulación regresiva PNNI**



**Fuente:** *Routing and Addressing on the Alcatel*. p. 56.

Una trayectoria alterna podría ser seleccionada para la ruta alrededor del punto bloqueado mientras tentativamente se minimiza el costo. La trayectoria alterna podría ser a través de los nodos A, B, F, D.

La información topológica necesaria para calcular la trayectoria alterna está disponible en cada nodo. Esta información es actualizada con los cambios que ocurren en la red, por consiguiente la variación de la trayectoria está basada en el estado corriente de la topología de la red. En otras palabras, para una pareja fuente dada y destino, hay más de una trayectoria alterna dependiendo de la topología de la red al momento de que la manipulación regresiva es iniciada.

### **5.9.1. Provocación de la manipulación regresiva PNNI**

La manipulación regresiva se inicia en el nodo por el cual pasa la trayectoria de la llamada hacia el destino indicado, y el mismo precede al nodo que no puede completar dicha llamada, pudiendo así ser enrutado alrededor de un punto bloqueado.

La provocación de la manipulación regresiva se basa en las siguientes condiciones.

- Indisponibilidad para asignar los recursos requeridos por el portador para soportar la llamada. Ejemplos de los recursos del portador son el ancho de banda y el CAC, identificador de conexión (VPI/VCI), entre otros.
- Hay insuficientes recursos de las tarjetas de servicio SVC para soportar esa llamada. Por ejemplo, el máximo número de llamadas soportadas por una tarjeta SVC tiene que ser alcanzable.
- La llamada tiene que alcanzar el nodo terminal de la DTL, y si se determina que la llamada no puede ser completada debido a la falta de recursos, entonces el número de partida de la llamada es cualquiera de los dos, ya sea un suscriptor local o una dirección exterior alcanzable.

Si la llamada no puede ser completada porque el número de partida no es alcanzable o porque se determina que eso tiene insuficiente falta de recursos para la llamada, una manipulación regresiva es generada. El propósito de ejecutar una manipulación regresiva en esta situación es para permitir la selección de la trayectoria alterna en el caso donde el suscriptor o la dirección exterior alcanzable es compatible.

## 6. CONMUTACIÓN DINÁMICA EN GUATEMALA

### 6.1. Redes de comunicación existentes

Una red es la interconexión de diferentes equipos: computadoras, impresoras, terminales, unidades de discos y otros entre sí; existen múltiples dispositivos en la red, con múltiples usuarios capaces de seleccionar entre ellas. Las redes más comunes en nuestro medio son las siguientes.

- Redes de área amplia (WAN): son todas aquellas que cubren una extensa área geográfica. Son generalmente una serie de dispositivos de conmutación interconectados. Se desarrollan o bien utilizando tecnología de conmutación de circuitos o conmutación de paquetes.
- Conmutación de circuitos: en estas redes se establece un camino a través de los nodos de la red dedicado a la interconexión de dos estaciones. En cada enlace, se dedica un canal lógico a cada conexión. Los datos se transmiten tan rápido como se pueda. En cada nodo, los datos de entrada se encaminan por el canal dedicado sin sufrir retardos.
- Conmutación de paquetes: no es necesario reservar canal lógico. En cada nodo, el paquete se recibe totalmente, se almacena y seguidamente se transmite al siguiente nodo.
- Retransmisión de tramas: al conseguir con la nueva tecnología una tasa de errores muy pequeña y una velocidad de transmisión elevada, no es necesario adjuntar mucha información de cabecera a cada paquete y por tanto las velocidades de transmisión son elevadísimas comparadas con el sistema de conmutación de paquetes.

- ATM: en retransmisión de tramas se usan paquetes de tamaño variable y en ATM se usan paquetes de tamaño fijo, con lo que se ahorra información de control de cada trama y por tanto se aumenta la velocidad de transmisión. En este sistema, se dedican canales virtuales de velocidades de transmisión adaptables a las características de la transmisión.
- RDSI de banda ancha: es un sistema de transmisión de enfoque universal y de velocidad de transmisión muy rápida . Está basado en conmutación de circuitos (banda estrecha) y en conmutación de paquetes (banda ancha).
- Redes de área local (LAN): son de cobertura pequeña, velocidades de transmisión muy elevadas, utilizan redes de difusión en vez de conmutación, no hay nodos intermedios .

#### **6.1.1. Topología de las redes**

Cuando sólo es necesaria la conexión de un emisor con un receptor, se utilizan enlaces punto a punto. Si se quiere utilizar un ordenador central y varias terminales, se pueden utilizar conexiones punto a punto entre cada terminal y el computador central, pero éste debe tener un puerto de E/S dedicado a cada terminal y además una línea de conexión entre cada terminal y el computador central .

Existe la posibilidad de conectar un computador central con varias terminales mediante una línea multipunto y por medio de un sólo puerto de E/S. Las topologías más comunes en nuestro medio son las siguientes.

- Topología en bus: en la topología en bus, todas las estaciones se encuentran conectadas directamente a través de interfaces físicas llamadas tomas de conexión, a un medio de transmisión lineal o bus. Hay terminales a cada extremo del bus para que las señales no reboten y vuelvan al bus.

- Topología en árbol: es similar a la de bus pero se permiten ramificaciones a partir de un punto llamado raíz, aunque no se permiten bucles.
- Topología en anillo: la red consta de una serie de repetidores conectados unos a otros en forma circular. Cada estación está conectada a un repetidor, que es el que pasa información de la red a la estación y de la estación a la red. Los datos circulan en el anillo en una sola dirección. La información también se desgaja en tramas con identificadores sobre la estación de destino. Cuando una trama llega a un repetidor, éste tiene la lógica suficiente como para reenviarla a su estación (si el identificador es el mismo) o dejarla pasar si no es el mismo. Cuando la trama llega a la estación origen, es eliminada de la red. Debe de haber una cooperación entre las estaciones para no solapar tramas de varias estaciones a la vez.
- Topología en estrella: en este caso, se trata de un nodo central del cual salen los cableados para cada estación. Las estaciones se comunican unas con otras a través del nodo central. Hay dos formas de funcionamiento de este nodo, una forma es que este nodo es un mero repetidor de las tramas que le llegan (cuando le llega una trama de cualquier estación, la retransmite a todas las demás), en cuyo caso, la red funciona igual que un bus y la otra forma es de repetidor de las tramas pero sólo las repite al destino (usando la identificación de cada estación y los datos de destino que contiene la trama) tras haberlas almacenado.

## **6.2. Selección del servicio de conmutación dinámica**

En este capítulo se dan algunas recomendaciones para diseñar un plan de direccionamiento y una topología de red PNNI que pueda permitir la escalabilidad y el futuro crecimiento.

La planeación de una red de servicios conmutados incluye dos partes esenciales como lo son el plan de direccionamiento ATM y la topología de enrutamiento PNNI.

Estos dos aspectos de las redes de servicios conmutados son igualmente relacionados y los mismos podrían planearse en forma paralela. Los límites de las redes PNNI y SVC deben también ser observados en la planificación del direccionamiento y la topología. En este capítulo se enlistan algunos límites de las redes PNNI y SVC, y el resultado del esquema a considerar cuando se planea el direccionamiento ATM y la topología de enrutamiento PNNI.

### **6.3. Coexistencia del enrutamiento estático y PNNI**

El enrutamiento estático y el enrutamiento PNNI o dinámico pueden existir en la misma red y en el mismo nodo en orden, para reconfigurar las trayectorias hacia ciertos prefijos de direcciones preferidos usando las especificaciones mediante PNNI. Esto es posible que sea necesario debido a requerimientos políticos, o para configurar las direcciones exteriores alcanzables PNNI.

### **6.4. Incorporación de conmutadores en redes ATM**

Los conmutadores ATM incorporan técnicas de enrutamientos para todas las funciones de relevo de celdas en la red. Esto quiere decir que cada celda ATM encuentra este camino a través de la estructura de conmutación de la red usando información de enrutamiento llevada en el encabezado de la celda.

Un conmutador ATM acepta una celda desde el medio de transmisión, realiza un chequeo de validación en el dato del encabezado de la celda, lee la dirección y la envía hacia el próximo enlace en la red. Los conmutadores inmediatamente aceptan otra celda que puede ser parte de la anterior y repiten el proceso. El encabezado de la celda suministra información de control a la capa de arquitectura ATM quien en combinación con la capa física, provee servicios esenciales de comunicaciones en una red ATM.

El enfoque orientado a la arquitectura del conmutador consiste en comparar características propias del chip de algunos fabricantes.

#### **6.4.1. Comparación y configuración de los conmutadores ATM**

- *NewBridge*: los sistemas *MainStreetXpress* 36140 y 36144 son niveles de acceso a plataformas. Son ideales para ser usados como conmutadores de acceso a multiservicios, tales como: *frame relay*, *cell relay*, LAN e interconexión a redes ATM. Cuando se requiera pueden ser usados como conmutadores ATM. La arquitectura de los sistemas de conmutación *MainStreetXpress* 36140 y 36144 está basada en doble bus de conmutación, sin bloqueo, con una capacidad total de 2 Gbits/s. Su alta disponibilidad está garantizada por arquitectura de redundancia, proveyendo protección de interfaces, suministro de energía, control central, buses de conmutación y sincronización.

Los sistemas *MainStreetXpress* 36140 y 36144 soportan ATM UNI 3.1, UNI 4.0 y NNI o usan tarjetas OC-3 / STM-1 (MMF, SMF IR, SMF LR y SMF VLR), STM-1 Eléctrico, T3, E3, T1 (DSX-1 y CSU/DSU) o E1 (75 ó 120 ohm). Los sistemas *MainStreetXpress* 36140 y 36144 son característicos de la gestión de tráfico UNI 4.0, incluyendo soporte total para CBR, rt-VBR (*real-time variable bit rate*), nrt-VBR (*non-real-time variable bit rate*), ABR, UBR.

Los sistemas 36140 y 36144 proveen niveles de servicio de garantías para cada tipo de tráfico y usan un avanzado algoritmo para admisión y control de conexión y combinación de grandes amortiguadores (*buffers*). La alimentación para estos conmutadores puede ser de -48 / -60 voltios DC, máximo consumo de potencia: 250 watts (36140), de -48 / -60 voltios DC y auto-rango 110/220 voltios AC, máximo consume de potencia 130 watts (36144) y por último suministro de potencia por compartición de alimentación redundante.

- IMB: conmutador ATM de 16 puertos de entrada y 16 puertos de salida, soporta aplicaciones de mezcla heterogénea de tráfico de voz, datos y video. Presenta una arquitectura modular de 16 puertos de entrada y 16 puertos de salida sobre un mismo circuito integrado (*chip*), agrega una muestra de datos de 6.4 Gbps por módulo. Este circuito integrado (*chip*) proporciona una capacidad multidifusión (*multicast*) flexible. La interfase es de 300 - 400 Mbps por puerto. Es apropiado para tráfico a ráfagas en ambiente de LANs.
- MMC: ATMS2000 con circuito integrado (*chip*) ATM que optimiza aplicaciones de trabajo de grupos y redes principales (*backbone*) LAN. La arquitectura de conmutación de este circuito integrado (*chip*) está basado sobre memoria compartida, proporciona conmutación sin bloqueo. Provee 4 colas por cada puerto de salida de 155 Mbps, para 4 niveles de prioridad de tráfico.
- IBM: conmutador ATM de n-vías 2230 modelo 600 y 650 son conmutadores ATM multiservicios basados en tecnología de puntos cruzados (*crosspoint*). Están orientados a las funciones más avanzadas e innovaciones de valor agregado característicos de ATM, los cuales proveen total integración al usuario para ingresar todas las premisas de la tecnología ATM WAN. Presenta una plataforma modular de 16 ranuras, dos ranuras dedicadas para un módulo de conmutación ATM y una opcional, disponibilidad de redundancia, 14 ranuras habilitadas para módulo de I/O de alta densidad, capacidad de conmutación sin bloqueo a 5 Gbps, completamente integrado para conmutación multiservicio, es decir la misma arquitectura de red, enruta y gestiona la red. Soportan 8 puertos DS3/E3 ATM UNI, 4 puertos OC3c/STM-1 ATM UNI, 8 puertos T1/E1, 1 puerto OC12/STM-4. Dispone de módulo de procesador para control de flujo ABR/UBR.

Cada puerto contiene buffers para crear 10 distintas colas de calidad de servicios, en orden de prioridad de servicio se tienen los siguientes: una cola para tráfico CBR tales como voz y multiplexión en división de tiempo, 4 colas para tráfico rt-VBR, tales como video interactivo, 4 colas para tráfico nrt-VBR, tales como video de radiodifusión (*broadcast*) y una cola para tráfico ABR/UBR, tales como conexiones IP y LAN. Alimentación AC: auto-rango 100 a 240 voltios AC, alimentación DC: auto-rango -39 a -79 voltios DC, 12 amps en 110 Voltios AC ó 20 amps en -48 voltios DC.

- IBM: conmutador ATM de n-vías 8265 es la próxima generación de IBM para conmutación en la arteria principal (*backbone*) de la red ATM; soporta servicios de conmutación multiprotocolo (MSS), conmutación de LAN, módulos de interfase WAN, módulo de distribución de video, módulo de emulación de circuitos ATM. Introduce una nueva plataforma para la próxima generación de arterias principales (*backbone*) de redes ATM. Su arquitectura abierta está direccionada para necesidades en arterias principales (*backbone*) de redes ATM para alta capacidad de conmutación, puertos de alta densidad y alta fiabilidad, provee ranuras de doble conmutación y punto de control para redundancia.

Su arquitectura se basa en conmutar sobre un chip para entregar altas capacidades de conmutación, hasta 12.8 Gbps en un backplane ATM de 25 Gbps. Trabaja con UTOPIA, interfaces WAN con velocidades desde T1/E1 hasta OC3. Acepta otras tecnología de compañías ATM y aplicaciones a través del programa desarrollado (development program) ATMkit.

Este conmutador aumenta las funciones de gestión de tráfico ATM, soporta todos los servicios de calidad (QoS) ATM, fija colas de prioridad basadas ATM QoS, regula el flujo de tráfico, a través del uso de una tasa relativa para tráfico ABR y rápido descarte de paquete de algún tipo de tráfico, VC para control de congestión, adaptación de tráfico por VP para regulación de velocidad, examinación instantánea de contadores por conexiones, puerto y módulo, amortiguador (*buffer*) para entrada y salida sobre los módulos 8265 y por último reflejo de los puertos para análisis de tráfico. La alimentación para este conmutador consiste en 415 watts, -48 voltios.

## **7. CRITERIOS DE DISEÑO**

### **7.1. Análisis de la red existente**

En el presente capítulo se pretende mostrar algunos puntos a considerar sobre el diseño en la construcción de una topología inicial PNNI, así como también la forma de elaborar un plan de direccionamiento que pueda ser usado, tanto para el direccionamiento de los suscriptores como para la construcción de la topología PNNI. Lo que aquí se presenta no es una metodología estricta que se debe siempre cumplir, y para el ejemplo que se analizará en este capítulo pueden existir un sin número de opciones posibles para el análisis y la construcción de la topología así como los requerimientos de la red.

### **7.2. Planeación del direccionamiento**

La finalidad de un plan de direcciones es tener en cuenta resúmenes, como también la posibilidad de tener un orden de el número de direcciones que tienen que ser anunciadas, esto ayuda a reducir el tamaño de las tablas de enrutamiento. La dirección se basa en una función local que es el reflejo de la topología de la red. Aunque esto no implica que el plan de direccionamiento está basado sobre la geografía, la topología de la red está generalmente dada por la geografía. Típicamente, los nodos son conectados con otros nodos cercanos geográficamente basados en vecindarios o comunidades de interés y optimización de la infraestructura de los costos.

Cuando se están conectando áreas que están geográficamente distanciadas, el tráfico está generalmente agregado para un pequeño número de caminos. Aquí los caminos están entonces conectados, para que conjuntamente, permitan por medio de un largo trayecto, que los costos sean minimizados, como oposición a la situación de la infraestructura entre todas las locaciones indiferentes al flujo del tráfico y al costo. Por lo tanto, la estructura del direccionamiento tiende a seguir las divisiones geográficas.

Un plan direccional basado en cada división organizacional como ventas, ingeniería, mercadeo, es probablemente no indicativo de la topología de la red y podría guiar a un plan de direcciones no resumible. Puesto que una dirección está realizada para ser usada como un localizador, el planeamiento direccional podría ser construido para tomar en cuenta los mejores criterios de direccionamiento, así como también tener en cuenta el crecimiento futuro y los cambios que pudiesen haber en la topología de la red. Aquí se incluyen la migración potencial para la jerarquía PNNI de una topología plana corrientemente. Por consiguiente, esto será necesario para anticipar como será la posible expansión de la red.

El planeamiento direccional de una red toma en cuenta dos partes, un plan direccional para conmutadores PNNI en la red, y un plan direccional para los suscriptores de la red. El planeamiento direccional de los conmutadores podría permitir la agregación de direcciones en la topología jerárquica PNNI, mientras que el planeamiento direccional del suscriptor podría permitir el resumen direccional de los suscriptores en orden para minimizar la cantidad de las direcciones resumidas que son más anunciadas por cada conmutador.

Típicamente un ASP (proveedor de servicio ATM), podría tener una estructura direccional para direccionar tanto los conmutadores como los suscriptores.

Alternativamente un ASP podría designar dos estructuras direccionales separadas para el conmutador y para el suscriptor, aunque el trabajo adicional podría ser requerido para administrar los dos esquemas direccionales.

### **7.2.1. Diseño de la estructura de direcciones para conmutadores y suscriptores**

El diseño de la estructura direccional de una red consiste en determinar cómo dividir el espacio direccional en términos del tipo de campos y el tamaño de cada campo. Después, la dirección es usada como un localizador.

La estructura de la dirección podría ser quebrantada dentro del campo determinado, debido a la topología corriente y futura de la red, para permitir así grupos pares para ser formados de diferentes niveles y prefijos de direcciones. Hay que recordar que los conmutadores en un grupo par tienen el mismo prefijo de dirección, cuya longitud es determinada por el nivel del grupo par. Formando grupos pares basados en la estructura direccional, se simplificaría la migración hacia la jerarquía PNNI.

#### **7.2.1.1. Tipos de campos de dirección**

Ya que la topología de la red a menudo sigue la geografía, los tipos de campos que son típicamente usados son los continentales, los de países, o los de ciudades. Alternativamente los campos pueden estar dados por más nombres genéricos como por ejemplo región, sub-región, área o distrito para proveer el servicio ATM flexiblemente sobre una área o región en específico. Esto es útil cuando la topología de la red no puede estar fácilmente dividida sobre la base de los límites geográficos semejantes a los países o ciudades. El tamaño geográfico de cada una de esas divisiones puede variar dependiendo de la densidad de nodos o suscriptores en una división en particular.

Por ejemplo, una región podría consistir de todos los departamentos de oriente de Guatemala, mientras otra región podría consistir únicamente del departamento de Totonicapán. La estructura direccional podría ser usada como una combinación del campo geográfico específico y genérico.

Una forma para identificar los conmutadores en la red, es mediante un conmutador identificable de campo, (también llamado conmutador ID), que es típicamente especificado. Además, en el caso donde el ASP elegido tiene una estructura direccional tanto para conmutadores como para suscriptores, un suscriptor de campo podría ser necesario para identificar los suscriptores.

El suscriptor de campo habilita la identificación de un único suscriptor (SSN) o de múltiples suscriptores mediante la configuración de MSNs (números de suscriptores múltiples) los cuales proveen de suscriptores con un rango de direcciones. Esto es necesario cuando el suscriptor mismo es una red de conmutadores, y no es simplemente un pieza o parte del equipo. Un ejemplo de la estructura direccional tanto de conmutadores como de suscriptores podría ser:

continente – país – región – ciudad – conmutador – suscriptor

Si una simple estructura direccional es usada para las dirección tanto de los conmutadores como la de los suscriptores en la red, el prefijo de dirección del suscriptor inevitablemente contendría el campo del conmutador de identificación (ID) en este formato. Teniendo un conmutador de campo en el esquema de direccionamiento del suscriptor, se permitiría a las direcciones de los suscriptores conectados ir hacia el conmutador para que sean fácilmente resumidas usando un simple prefijo consistente de todos los campos de direcciones sobre el campo del conmutador de identificación (ID).

Sin embargo, asignando un campo para el conmutador, explícitamente identificado, el conmutador como el punto suscriptor agregados, se verán afectados por el suscriptor portátil. A los suscriptores puede que sean necesarios removerlos de un conmutador hacia otro conmutador por varias razones, y si es así tendrían que ser redireccionados para identificar su nuevo punto a agregar.

Alternativamente, los suscriptores podrían mantener sus direcciones, pero su cobertura tendría que ser anunciada como una excepción, o podría ser usada como una dirección trasladada. Algunos ejemplos de situaciones donde los suscriptores necesitarían ser removidos son

- El suscriptor está requiriendo de un servicio que el conmutador común no lo tiene almacenado.
- El suscriptor está localizado en una área donde no hay un conmutador, y por lo tanto regresa su recorrido hasta un conmutador en otra área. Una vez que está suficientemente suscrito en el área para garantizar la instalación de un conmutador, todos los suscriptores tienen que ser movidos hacia ese nuevo conmutador.

#### **7.2.1.2. Longitud del campo de la dirección**

La longitud disponible para un campo depende del número de casos requeridos para ese campo. Por ejemplo, si hay un campo llamado continente para representar los continentes en el mundo, entonces en 6 casos más es necesitado continente. Un octeto representa 2 dígitos hexadecimales, también llamados *nibble*. Un *nibble* es el nivel más bajo gradualmente posible, los cuales mediante esos pequeños campos posibles pueden especificar 16 diferentes casos. En el ejemplo que a continuación se presenta, la longitud de un *nibble* es suficiente para un campo igual a continente.

Se puede considerar el siguiente ejemplo como apropiado para el conmutador de campo. Dado que un grupo par puede acomodar en más de 200 conmutadores, aquí no se necesita asignar más que dos *nibbles* para el campo del conmutador ( $16 \times 16 = 256$ ).

### **7.3. Planeando la topología inicial y futura**

En la implementación inicial de una red de servicios conmutados, la red probablemente consistirá de un simple nivel jerárquico PNNI, debido a varias razones entre las que se pueden mencionar que la red probablemente será pequeña, o porque el equipo usado puede no soportar inmediatamente la jerarquía PNNI. Sin embargo, a no ser que ciertamente la red podría ya no crecer, esto es aconsejable tomarlo en cuenta al momento de planear la red para la migración eventual hacia una jerarquía de multiniveles.

Debido a que PNNI ha sido desplegado ampliamente en redes alrededor del mundo así como también en redes que tienden a crecer, los requerimientos de las tablas de enrutamiento serán también grandes para poder ser manejados en una topología plana, por lo tanto dichos requerimientos utilizan una jerarquía PNNI. Consecuentemente la planeación de una red PNNI podría ser emprendida con la expectativa para uso eventualmente de una topología de enrutamiento jerárquico, proporcionando así una simple migración de la trayectoria cuando la jerarquía es requerida.

#### **7.3.1. Planeando el nivel inicial simple de la topología PNNI**

En una topología PNNI de nivel simple, dos tipos de topología de redes pueden ser desplegadas. La red podría consistir de un simple grupo par, o puede consistir de más de un grupo par unidos juntamente por rutas exteriores PNNI.

En el primer escenario, todos los conmutadores en la red son parte del mismo grupo par. Esto es posible cuando el número de conmutadores en la red no excede el límite soportado en un grupo par.

En el segundo escenario, hay más conmutadores en la red de los que pueden ser soportados por un grupo par, debido a esto, múltiples grupos pares son necesarios. En este caso, el grupo par está considerado independientemente de los dominios de enrutamiento PNNI. Esta independencia de los dominios de enrutamiento PNNI puede ser interconectada usando protocolos de señalamiento tales como AINI o IISP y se puede usar las rutas exteriores PNNI.

Si en grupos pares múltiples se toma en cuenta el modo de entrada, la división de los conmutadores dentro de los grupos pares podría ser implementada con la topología jerárquica futura en mente. Por ejemplo, los grupos pares formados en la topología inicial plana pueden estar sobre algunos grupos pares en la topología jerárquica. Los grupos pares podrían ser formados con base en la topología de la red. Los conmutadores localizados en común podrían típicamente ser parte del mismo grupo par. Como se mencionó previamente cada topología de red usualmente tiende a seguir la geografía. Los grupos pares pueden ser creados para abarcar un área geográficamente de cada país o ciudad. El tamaño geográfico de un grupo par podría depender del número de conmutadores en esa área. Claramente, no hay beneficio en crear un grupo par para una ciudad, si esa ciudad solamente tiene unos pocos conmutadores.

A pesar de que la topología de nivel simple está implementada en la etapa inicial, si el enrutamiento jerárquico está siendo usado, un plan de topología jerárquica multinivel puede ser usado. La diferencia es que algunas de las decisiones envueltas en el diseño de la topología jerárquica tendrán que ser realizadas en grupos pares múltiples en la topología inicial.

### **7.3.2. Planeación del crecimiento futuro usando jerarquía de enrutamiento**

El concepto de la jerarquía PNNI, permite a las redes PNNI escalar directamente hacia la agregación de direcciones e información de enrutamiento en la red.

La capacidad de las redes para ejecutar esta función en su mayor parte depende de la planeación de la red del plan de direccionamiento asociado. En una red jerárquica, los nodos están en grupos pares basados en sus prefijos direccionales ATM y en el nivel jerárquico, el cual está definido por el nivel del nodo. Los nodos dentro del mismo grupo par se comunican detalladamente la topología y la información alcanzable pero no se comunican directamente con los nodos que están en otros grupos pares. Esta comunicación se lleva a cabo sobre un PVC basado en el canal de control de enrutamiento (RCC), conectado entre los nodos dentro de los enlaces que están en el grupo par PNNI. Los nodos en diferentes grupos pares con RCC necesitan la información de comunicación conectiva para establecer la jerarquía sobre los enlaces exteriores. Dos nodos con RCC determinan la conectividad si el enlace correspondiente es un enlace interno o un enlace externo usando la identificación (ID) del grupo par PNNI, el cual contiene los niveles del nodo PNNI y los prefijos de direcciones ATM de los nodos PNNI. Usando el nivel del nodo como un bit enmascarado, los nodos conectados pueden determinar si el enlace entre ellos es un enlace interno (iguales identificadores de grupos pares), o un enlace externo (diferentes identificadores de grupos pares). Además, hay algunos enlaces de señalización asociados con cada RCC PVC para portar la llamada en paquetes de control.

Cada grupo par selecciona un encabezado de grupo par, que representa a esos grupos pares como un nodo de grupos lógicos para el próximo nivel de la jerarquía. Los nodos de grupos lógicos para el próximo nivel de jerarquía crean SVC basados en RCCs entre unos y otros para comunicar la información de enrutamiento PNNI acerca del respectivo grupo par.

Esta información es cambiada entre los nodos de grupos lógicos y suministrada a nodos de niveles menores en otros grupos pares para establecer llamadas en grupos pares externos a ellos. Los SVC basados en RCCs dependen de la estructura del señalamiento subrayado para establecer su conectividad, por lo tanto no hay un enlace de señalización directamente asociado con el SVC basado en RCC.

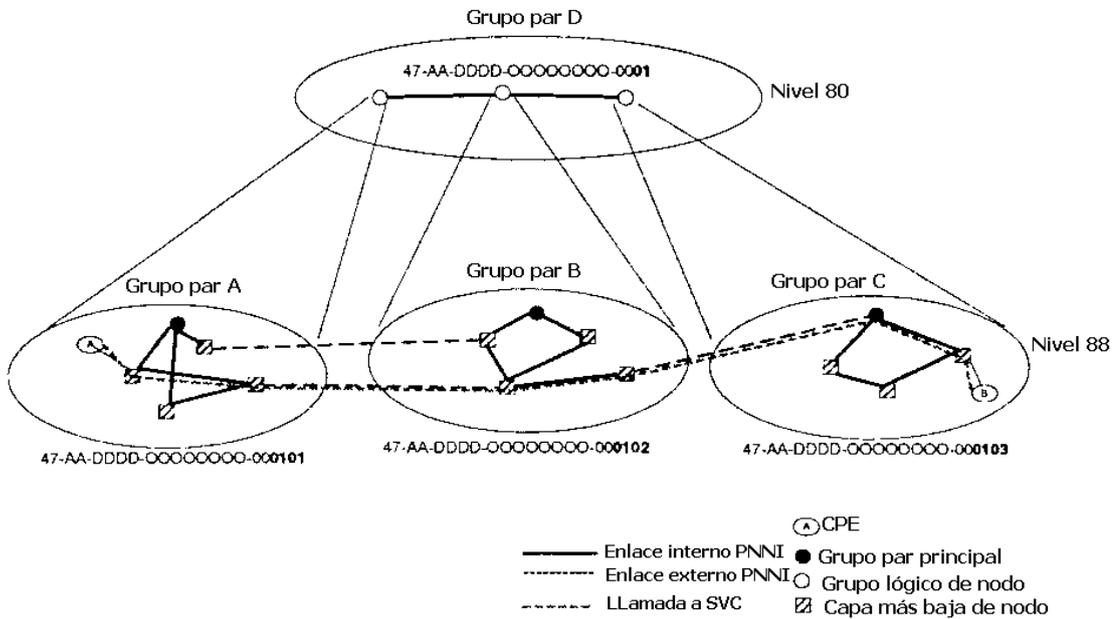
El proceso de representación de los nodos comienza en el nivel menor y se propaga hasta el nivel más alto, formando así una jerarquía de enrutamiento. Es así como el PNNI permite escalar para proporciones mayores. Como un ejemplo, se asume que un nodo PNNI en un grupo par puede ver 200 nodos. Con un nivel de jerarquía, éste podría permitir aproximadamente 200 nodos en un dominio PNNI plano. Con 2 niveles de jerarquía, este número sería el número total de nodos en un simple nodo pudiéndose ver en ambos niveles (el número en el grupo par de menor nivel + el número en el grupo par de mayor nivel  $\leq 200$ ). Se puede observar que los nodos de grupos lógicos representan una agrupación lógica de nodos desde la perspectiva del nodo de nivel más bajo en otros grupos. Por lo tanto esto implica que los nodos de grupos lógicos para el nivel más alto son tomados en cuenta como un nodo cualquiera.

Si por ejemplo, la red estaba designada para 120 nodos en el nivel más bajo y habían 80 en dicho nivel de los grupos pares, el nivel mayor sería un dominio de 80 entidades dando algunas a los nodos visiblemente de nivel menor de un total de 200 entidades. Esto permitiría tener  $80 \times 120$  nodos, o 9600 nodos en la red completa. Además, el concepto de jerarquía ayuda a resumir la información alcanzable entre grupos pares del esquema de direccionamiento pudiéndose prestar a cambios o agregaciones. Un plan programado que no promueve la agregación de direcciones puede rápidamente derrotar las ventajas cosechadas con la jerarquía PNNI.

Una nota importante, es que aunque la propagación de la información de enrutamiento es jerárquica, el enrutamiento de las mismas llamadas no es necesariamente jerárquico, al menos que la red sea físicamente diseñada para que lo sea. Las llamadas serán enrutadas, basadas en la información propagada por el PNNI, sin embargo, la trayectoria tomada por la llamada de un punto hacia otro no tiene necesariamente que pasar directamente por el principal grupo par que representa al nodo del grupo lógico en el nivel más alto o mayor.

En la figura 50 se muestra una representación gráfica del concepto de la jerarquía PNNI y se da un ejemplo de una llamada enrutada directamente en la red de un usuario A hacia un usuario B. Las direcciones asociadas con los diferentes grupos pares representan sus identificaciones (IDs) de grupos pares.

**Figura 50. Jerarquía PNNI**

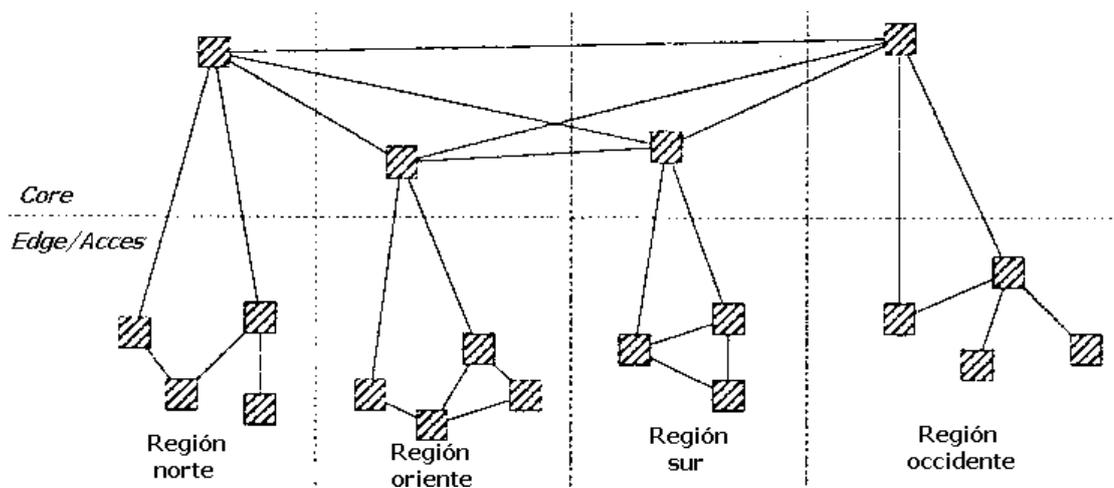


**Fuente:** *Routing and Addressing on the Alcatel*. p. 67.

### 7.3.3. Vista de los niveles superiores

Un punto importante a tener en mente cuando se determina el análisis de los grupos pares para jerarquías futuras es como el nivel superior o alto del enrutamiento de la información aparecería en los nodos de niveles menores o más bajos, causando así un impacto en el enrutamiento de la llamada directamente en la red. La figura 51 representa una red nacional con una típica composición de anillo/núcleo (*core/edge*). Todos los bordes de los nodos conmutan llamadas satisfactoriamente a través de las mallas principales, las cuales ingresan a las mallas a través del nodo del anillo de la región respectiva.

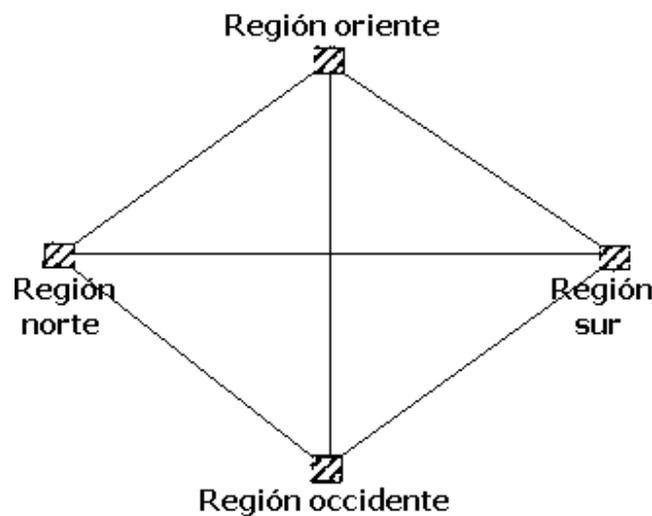
Figura 51. Selección de grupos pares



Al planear la red se debe hacer una decisión sobre cómo dividir los grupos pares para la jerarquía. Dos opciones posibles son descritas a continuación.

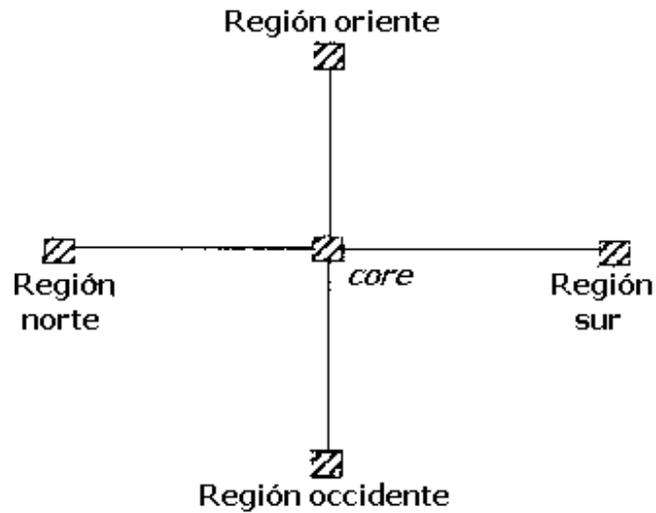
- a. Dividir la red basándose puramente en la topología geográfica sin distinción entre un nodo en el borde y un nodo en el centro o núcleo. Los 4 grupos pares producidos tendrían el mismo nivel y cada encabezado del grupo par elegido representa al grupo par en el próximo nivel de jerarquía. La topología PNNI de los niveles altos de los grupos pares sería como la que se muestra en la figura 52.

**Figura 52. Topología de los niveles altos de los grupos pares con 4 grupos lógicos de nodos**



- b. Dividir la red basándose en una mezcla entre la geografía y el tipo de nodo (central o de borde). Esto produciría 4 grupos pares, basándose en la región topológica y en la separación de los grupos pares para el conmutador central obteniendo un total de cinco grupos pares. Los 5 grupos pares tendrían el mismo nivel y cada encabezado del grupo par elegido representaría el grupo par en el próximo nivel de la jerarquía. Aquí los encabezados de grupos pares crearían SVC basados en RCCs entre uno y otro para propagar la información de enrutamiento. La topología PNNI de los niveles altos de grupos pares se muestra en la figura 53.

**Figura 53. Topología de los niveles altos de los grupos pares con 5 grupos lógicos de nodos**



#### 7.4. Diseño de la red ATM con conmutación dinámica

Para establecer los enlaces en una red de comunicación, ésta tiene una distribución de nodos basada en la geografía, tal como se muestra en la siguiente lista de la tabla II.

**Tabla II. Distribución de nodos**

<b>Región</b>	<b>Nodos Hoy</b>	<b>Nodos En 5 años</b>
Metropolitana	70	210
Central	40	93
Suroccidente	36	120
Norte	45	160
Petén	45	150
Nororient	18	40
Noroccidente	18	25
Surorient	19	34

La red planeada se registra como una organización, mediante el uso de un identificador para organizaciones para direccionamiento en telecomunicaciones, que sus siglas en inglés son IOTA (*Identifiers for Organization for Telecommunications Addressing*). Luego de lo anterior se recibe un bloque de direcciones como las siguientes.

AFI = 47  
 ICD = 0124 (este es denotado por IOTA)  
 Org ID = 111222

Esto permite hacer un plan de red con 7 octetos (o 14 dígitos). Después de analizar las proyecciones de la red y notando que los patrones de tráfico en dicha red generalmente fluyen norte/sur cuando atraviesan las ciudades, las decisiones son realizadas para una estructura de un formato de direcciones como el que se muestra en la tabla III.

**Tabla III. Estructura de dirección**

Digito	Campo	Uso	Valor
1 - 2	AFI	Fijado para el ICD	47
3 - 6	ICD	ICD para IOTA	0124
7 - 12	Org. ID	Indica la organización debajo del IOTA	111222
13	Región Continental	Identifica regiones continentales grandes	y
14	Region	Identifica regiones geográficas grandes	R
15	Sub-Región	Identifica regiones geográficas pequeñas	r
16 - 17	Área	Identifica una área dentro de una sub-región	aa
18 - 19	Ciudad	Identifica una ciudad dentro de un área	cc
20 - 21	Distrito	Identifica un distrito dentro de una ciudad	dd
22 - 26	Suscriptor	Identifica el suscriptor	sssss
27 - 38	ESI	Identificador de sistema terminal	xxxxxxxxxxx
39 - 40	Sel	Selector	vv

De lo anterior se puede asumir el siguiente prefijo de dirección:  
 A470124111222yRraaccddsssss.

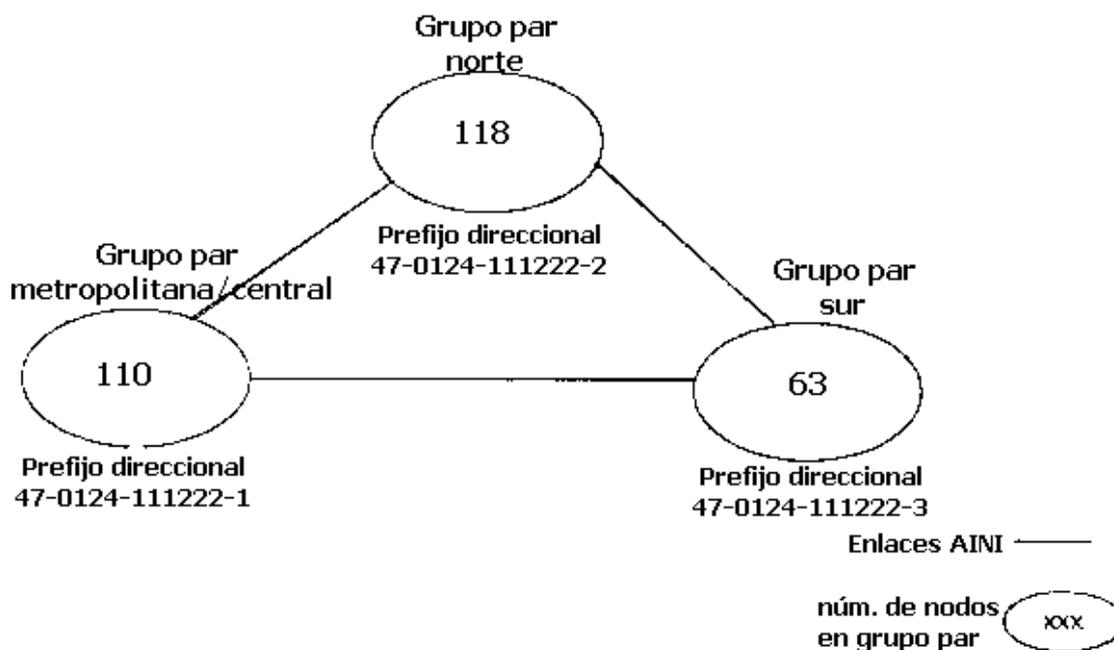
Al planear la red hay que definir la región continental y los campos de la región para incorporar las regiones geográficas según la tabla III. Los valores asignados para cada campo son los que se muestran en la tabla IV.

**Tabla IV. Definición de los campos de dirección y asignación de valores**

<b>Región Continental</b>	<b>Región</b>
Metropolitana, Central - 1	Guatemala - 1
	Sacatepéquez - 2
	Escuintla y Chimaltenango - 3
Norte - 2	Las Verapaces y Petén - 1
	Quiché y Huehuetenango - 2
	Chiquimula, Izabal y El Progreso - 3
Sur - 3	Santa Rosa y Jutiapa - 1
	Quetzaltenango y San Marcos - 2
	Jalapa y Zacapa - 3
	Retalhuleu, Suchitepéquez y Solola - 4

Para la topología inicial, el plan de red desplegaría grupos pares múltiples de un nivel simple topológico, donde hay más nodos de los que pueden ser soportados en un solo grupo par. Los grupos pares son creados de acuerdo al campo de la región continental. El resultado de la topología inicial y el direccionamiento es el que se muestra en la figura 54. Hay que recordad, que cada grupo par es un dominio de enrutamiento PNNI independiente, y que ellos advierten el alcance para cada una de las otras vías de las rutas exteriores PNNI sobre enlaces AINI. Los nodos en cada grupo par están para todos los 52 niveles.

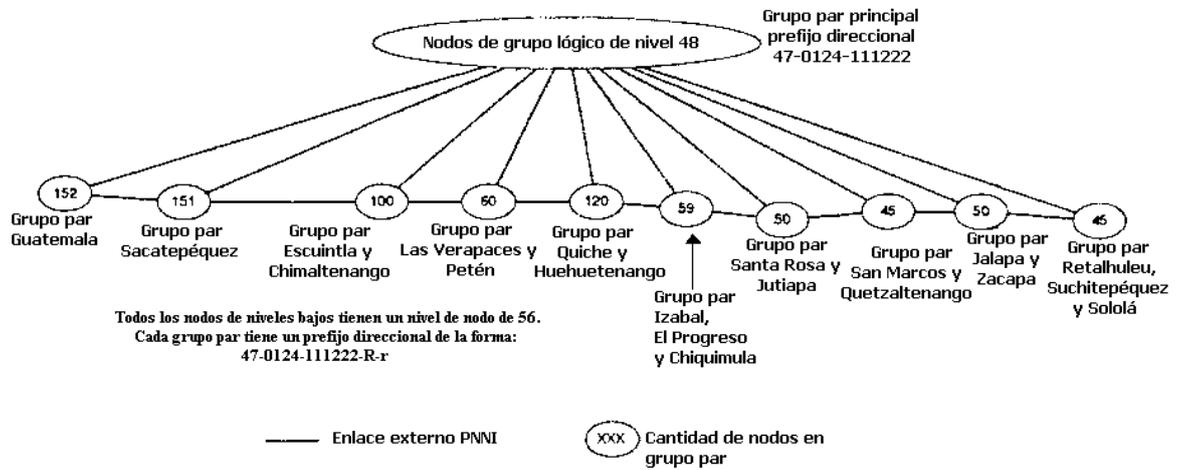
Figura 54. Topología inicial de nivel simple



Debido al pronóstico del crecimiento de la red, el planeamiento de la red indica que la misma migrara hacia una jerarquía de nivel 2 en el futuro. Los niveles altos de los grupos pares podrían basarse en la ID de la organización mientras los niveles bajos de los grupos pares podrían basarse en la ID de la región. Observe que debido al pronóstico de la distribución de los nodos, no es posible tener niveles bajos en los grupos pares basados en la ID de la región continental, debido a esto podrían exceder el límite nodal de grupos pares. Las entradas a la red ahora pertenecen a los mismos dominios de enrutamiento PNNI, consistiendo de 11 grupos pares para un nivel 56 y un grupo par principal para un nivel 48.

La topología jerárquica se muestra en la figura 55. Los nodos dentro de cada grupo par de nivel bajo, cambian detalladamente la información de enrutamiento con los demás, mientras el sumario de la información de enrutamiento es intercambiada entre los grupos pares a través de los grupos pares de nivel alto.

**Figura 55. Topología PNNI nivel 2**





## CONCLUSIONES

1. La implementación de la conmutación dinámica en redes ATM es factible técnicamente sobre el ambiente tecnológico en que las telecomunicaciones se encuentran actualmente en Guatemala.
2. La seguridad que presta en sus servicios la conmutación dinámica en redes ATM es la mejor de las tecnologías de comunicación existentes, debido a la redundancia que existe en las redes.
3. Para poder tener una visión completa de la red y así permitirle a la misma tomar decisiones en la elección de trayectorias, el protocolo de enrutamiento PNNI se basa en la información acerca de los estados de cada enlace en el enrutamiento.
4. La factibilidad económica de la conmutación dinámica en redes ATM está basada en la trayectoria que debe seguir la información, el ancho de banda disponible, así como también las trayectorias redundantes que existan entre los puntos de enlace. A mayor confiabilidad de que los datos no se perderán, mayor será el costo a pagar por el servicio.
5. Debido a la capacidad que posee el protocolo PNNI para estar siguiendo los cambios de la topología de la red, la información sobre el enrutamiento y configuración de los conmutadores puede ser alterada, sin que se corra el riesgo de perder los datos de enlace.
6. La conmutación dinámica en redes ATM es lo bastante buena como para poder tener la disponibilidad de muchos servicios necesarios en la actualidad, con la seguridad de una buena calidad del servicio debido al parámetro QoS.



## **RECOMENDACIONES**

1. Poner en práctica aspectos financieros más estrictos, como análisis del mercado, crecimiento a nivel empresarial como a nivel de competencia entre otros, para evitar así gastos fuera de presupuesto y lograr una mejor eficiencia de la red.
2. Antes de comenzar a diseñar una red ATM basada en la conmutación dinámica, deben seleccionarse los tipos de servicios que se desean brindar, en relación al mercado que los rodea.
3. Aunque el implementar una red de conmutación dinámica sobre una red ya existente no requiera de la modificación de la misma en su totalidad, es recomendable que se verifiquen las trayectorias antiguas así como los enlaces, para establecer a través de los mismos aquellos donde se necesitarán redundancia de dichas trayectorias.



## BIBLIOGRAFÍA

1. *Path Recovery Strategies in MainStreetXpress ATM Networks*. Estados Unidos: Newbridge Version 1, 1998. 27pp.
2. *Routing and Addressing on the Alcatel 7470 and Alcatel 7670 RSP*. Estados Unidos Version 1, 2001. 73pp
3. *SVCs And S-PVCs on the MainStreetXpress*. Estados Unidos: Newbridge Versión 2, 1998. 77pp.
4. ATM. <[www.atmforum.com](http://www.atmforum.com)>. Marzo 2003.
5. ATM Forum. <[www.atmforum.com](http://www.atmforum.com)>. Marzo 2003.
6. ATM (Modo de Transferencia Asíncrono) <[www.merino.serana.net](http://www.merino.serana.net)>. 2003.
7. ATM Network <[www.tik.ee.ethz.ch](http://www.tik.ee.ethz.ch)>. Marzo 2003.
8. La otra cara de ATM Transmisión de Banda Ancha. <[www.comunicaciones.unitronics.es](http://www.comunicaciones.unitronics.es)>. Marzo 2003.
9. Bellcore. <[www.bellcore.com](http://www.bellcore.com)>. Abril 2003.
10. C&C Research Laboratories de NEC <[www.ccrl.nj.nec.com](http://www.ccrl.nj.nec.com)>. Abril 2003

